



TUGAS AKHIR - MO141326

ANALISIS PERILAKU SEMISUBMERSIBLE MENGUNAKAN KONFIGURASI *SPREAD* *MOORING* BERBASIS *TIME DOMAIN*

ADE LIDO TANIZAR

NRP. 4310 100 702

Dosen Pembimbing :

Ir. Imam Rochani, M.Sc.

Ir. Joswan J. Soedjono, M.Sc.

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2015



FINAL PROJECT - M0141326

ANALYSIS OF SEMISUBMERSIBLE BEHAVIOUR USING SPREAD MOORING CONFIGURATION BASED ON TIME DOMAIN

ADE LIDO TANIZAR

NRP. 4310 100 702

Supervisors :

Ir. Imam Rochani, M.Sc.

Ir. Joswan J. Soedjono, M.Sc.

OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya 2015

**ANALISIS PERILAKU *SEMISUBMERSIBLE*
MENGUNAKAN KONFIGURASI *SPREAD MOORING*
BERBASIS *TIME DOMAIN***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ADE LIDO TANIZAR

NRP. 4310 100 702

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Ir. Imam Rochani, M.Sc. (Pembimbing 1)
2. Ir. Joswan J. Soedjono, M.Sc. (Pembimbing 2)

SURABAYA, JANUARI 2015

ANALISIS PERILAKU SEMISUBMERSIBLE MENGGUNAKAN KONFIGURASI SPREAD MOORING BERBASIS TIME DOMAIN

Nama : Ade Lido Tanizar
NRP : 4310 100 702
Jurusan : Teknik Kelautan FTK – ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Imam Rochani, MSc.
Ir. Joswan J. Soedjono, M.Sc.

Abstrak

Semisubmersible merupakan struktur terapung yang umum digunakan dalam operasi kelautan seperti *drilling* dan produksi di lepas pantai. *Semisubmersible* memiliki karakteristik stabilitas dan *seakeeping* yang baik, oleh karena itu semisubmersible umum digunakan dalam operasi laut dalam. Saat beroperasi, *semisubmersible* tentu akan mendapatkan beban lingkungan yang menyebabkan gerakan struktur menjadi dinamis. Untuk mengurangi gerakan tersebut, maka dibuatlah suatu sistem tambat yang akan menjaga *semisubmersible* dan memastikan posisinya tetap pada tempatnya beroperasi. Dalam Tugas Akhir *semisubmersible* ditambat dengan metode *spread mooring* sejumlah 12 *line*. Hasil analisis RAO dan spektra respons yang terjadi menunjukkan bahwa penggunaan *spread mooring* cukup mengurangi respons yang terjadi utamanya pada moda gerakan *heave* dan *roll*. Kemudian untuk hasil analisis *tension line mooring* pada analisis ULS (*Ultimate Limit State*) diperoleh *tension* maksimal terjadi saat arah pembebanan 90° pada *fairlead chain* di line 3 sebesar 3565 kN. Hasil analisis ALS (*Accidental Limit State*) dengan memutuskan line 3 menghasilkan *tension* maksimal saat arah pembebanan 90° pada *fairlead chain* di line 4 sebesar 3560.99 kN. Diketahui kriteria maksimal *tension* yang diizinkan oleh API RP 2SK pada analisis ULS adalah 3922 kN untuk *wire rope* dan 4170 kN untuk *chain*, serta pada analisis ALS adalah 5240 kN untuk *wire rope* dan 5571.2 untuk *chain*. Dengan demikian maka dapat disimpulkan *tension* yang terjadi telah memenuhi kriteria dari API RP 2SK dan *mooring line* cukup kuat untuk menjaga *semisubmersible* tetap pada tempatnya.

Kata kunci : *semisubmersible*, *spread mooring*, RAO, ULS, ALS, *tension*, simulasi *time domain*

ANALYSIS OF SEMISUBMERSIBLE BEHAVIOUR USING SPREAD MOORING CONFIGURATION BASED ON TIME DOMAIN

Name : Ade Lido Tanizar
Reg. Number : 4310 100 702
Departement : Ocean Engineering, FTK – ITS
Supervisors : Ir. Imam Rochani, MSc.
Ir. Joswan J. Soedjono, M.Sc.

Abstract

Semisubmersible is a type of floating structures which largely used in offshore operation such as drilling and production. Semisubmersible have a very good stability and sea keeping characteristic. Because of that, semisubmersible is commonly used on deep-sea operation. When it operated, usually a semisubmersible receive some environment loads which make the structure behavior to be more dynamic. In order to decrease the number of dynamic move in a semisubmersible, a mooring line system should be made to ensure the position of the structure to be safely on it places. In this final project, the semisubmersible is moored by 12 lines with spread mooring system. The result from RAO and response spectrum shows that the mooring line effectively decrease the movement of semisubmersible, especially with heave, roll and pitch motion. Then, the result from tension analysis of mooring line when in ULS (Ultimate Limit State) shows that the maximum value come from environment loads direction 90° in fairlead chain on line 3 resulting 3565 kN. The result from tension analysis of mooring line when in ALS (Accidental Limit State) shows that the maximum value come from environment loads direction 90° in fairlead chain on line 4 resulting 3560.99 kN. It was calculated from API RP 2SK criteria that the maximum allowable tension in ULS analysis is 3922 kN for *wire rope* and 4170 kN for *chain*. Where for ALS analysis the maximum allowable tension is 5240 kN for *wire rope* and 5571.2 for *chain*. This conclude that the analysis result is comply with API RP 2SK and the mooring line are strong enough to keep the semisubmersible on its position.

Keywords : *semisubmersible, spread mooring, RAO, ULS, ALS, tension, time domain simulation*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah swt. karena berkat rahmat dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan berjudul “**ANALISIS PERILAKU *SEMISUBMERSIBLE* MENGGUNAKAN KONFIGURASI *SPREAD MOORING* BERBASIS *TIME DOMAIN***”. Laporan Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan jenjang studi Sarjana (S-1) di Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Dalam Tugas Akhir ini dibahas bagaimana perilaku *semisubmersible* ketika menerima beban lingkungan ketika dalam kondisi terapung bebas dan kondisi tertambat. Selanjutnya dibahas mengenai *tension mooring line* yang terjadi akibat menerima beban-beban struktur maupun beban lingkungan.

Tugas Akhir ini telah disusun dengan sebaik-baiknya. Namun demikian kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan untuk lebih memperbaiki penelitian ini selanjutnya. Harapan dari penulis semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu hidrodinamika dan khususnya menjadi sarana mencari ilmu yang berkah bagi penulis.

Surabaya, Januari 2015

Ade Lido Tanizar

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang membantu dalam penelitian Tugas Akhir ini baik secara langsung maupun tidak langsung tanpa terkecuali. Secara khusus penulis ingin memberikan ucapan terima kasih kepada

1. Allah swt atas nikmat Iman dan Islam serta karunianya yang Maha Luas.
2. Bapak Ir. Imam Rochani, MSc. dan Bapak Ir. Joswan J. Soedjono, M.Sc. selaku Pembimbing Tugas Akhir penulis yang banyak memberikan ilmu dan nasihat yang berharga dalam penelitian Tugas Akhir ini.
3. Bapak Drs. Mahmud Musta'in, M.Sc., Ph.D. selaku dosen wali selama penulis berada di Jurusan Teknik Kelautan
4. Ibu Silvianita, ST., M.Sc., Ph.D. selaku Koordinator Tugas Akhir.
5. Bapak Suntoyo, ST., M.Eng., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Kelautan.
6. Seluruh dosen dan staf Jurusan Teknik Kelautan yang tidak dapat penulis tulis satu persatu, terima kasih telah banyak berbagi ilmu dan membantu penulis dalam menjalani masa studi selama ini.
7. Keluarga kecil penulis, mama dan bapak, Hafid dan Irfan yang telah banyak memotivasi penulis dan menjadi semangat dalam menyelesaikan studi.
8. Faradilla Elmi atas nasihatnya selama menjalani masa studi dan menjadi motivasi penulis selama menyelesaikan studi.
9. Teman-teman penulis yang telah banyak berbagi ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, Ardhyhan Wisnu Pradhana, Yuni Ari Wibowo, Rizki Amalia Prasiwi, Radiynal Ahmadikhtiyar, Dimas Alif Yunas, Wilda Rabitha Awalia dan semua teman-teman lain yang menjadi tempat jujukan dan tempat belajar penulis.
10. Keluarga besar Teknik Kelautan angkatan 2010 L28 MEGALODON yang banyak berbagi baik saat suka maupun duka.
11. Seluruh keluarga laboratorium OPRES yang telah memberikan banyak masukan dan kesempatan bagi penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.

12. Semua teman-teman Jurusan Teknik Kelautan dari angkatan atas sampai angkatan bawah yang telah membantu penulis dalam studi dan berkehidupan di kampus selama ini.

13. Keluarga besar CSS MoRA ITS, yang juga banyak membantu penulis selama masa studi di ITS.

Semoga menjadi berkah dan manfaat bagi penulis, maupun semua pihak yang ikut membantu penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini, Amin.

Surabaya, Januari 2015

Ade Lido Tanizar

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
COVER	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. LATAR BELAKANG MASALAH.....	1
1.2. RUMUSAN MASALAH	3
1.3. TUJUAN	3
1.4. MANFAAT	3
1.5. BATASAN MASALAH	4
1.6. SISTEMATIKA PENULISAN	5
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	7
2.1. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.2. DASAR TEORI.....	8
2.2.1. Analisis Respons	8
2.2.2. Dasar Analisis Dinamis	8
2.2.3. Teori Dasar Gerakan Bangunan Apung	10
2.2.4. Perilaku Bangunan Apung Pada Gelombang Reguler.....	11
2.2.4.1. Teori Gelombang Reguler	11
2.2.4.2. <i>Response Amplitude Operator</i> (RAO).....	12
2.2.5. Faktor Non Linear	14

2.2.5.1.Beban Gelombang Second Order	14
2.2.5.2.Beban Angin.....	14
2.2.5.3.Beban Arus	14
2.2.6. Sistem Tambat.....	15
2.2.7. Penentuan Panjang <i>Mooring Line</i>	16
2.2.8. Perilaku Bangunan Apung pada Gelombang Acak.....	16
2.2.8.1.Respons Bangunan Apung pada Gelombang Acak.....	16
2.2.8.2.Spektrum Gelombang.....	17
2.2.9. Analisis Sistem Tambat pada Kondisi ULS dan ALS	18
2.2.9.1.ULS (<i>Ultimate Limit State</i>)	19
2.2.9.2.ALS (<i>Accidental Limit State</i>)	19
2.2.10. <i>Tension</i> pada Tali Tambat	19
 BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	 21
3.1. METODOLOGI PENELITIAN.....	21
3.2. PENGUMPULAN DATA.....	24
 BAB IV. ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN	 29
4.1. PEMODELAN DAN VALIDASI STRUKTUR	29
4.2. KONFIGURASI MOORING LINE	31
4.3. SKENARIO ANALISIS RESPONS GERAK <i>SEMISUBMERSIBLE</i>	32
4.4. ANALISIS RESPONS <i>SEMISUBMERSIBLE</i> PADA GELOMBANG REGULER	32
4.4.1. Analisis Respons <i>Semisubmersible</i> pada Gelombang Reguler Kondisi <i>Free Floating</i>	32
4.4.2 Analisis Respons <i>Semisubmersible</i> pada Gelombang Reguler Kondisi Tertambat	39
4.5. ANALISIS RESPONS <i>SEMISUBMERSIBLE</i> PADA GELOMBANG ACAK	47
4.5.1. Analisis Spektra Gelombang.....	47
4.5.2. Analisis Perilaku gerak <i>Semisubmersible</i> pada Gelombang Acak Kondisi Terapung Bebas (<i>Free Floating</i>)	49

4.5.3. Analisis Perilaku gerak <i>Semisubmersible</i> pada Gelombang Acak Kondisi Tertambat (<i>Tethered</i>)	52
4.6. DISTRIBUSI TENSION TALI TAMBAT	54
4.6.1. Analisis <i>Tension</i> Tali Tambat untuk <i>Semisubmersible</i> pada Kondisi ULS	55
4.6.2. Analisis <i>Tension</i> Tali Tambat untuk <i>Semisubmersible</i> pada Kondisi ALS	59
BAB V. PENUTUP	63
5.1. KESIMPULAN	63
5.2. SARAN	64
DAFTAR PUSTAKA	65
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR TABEL

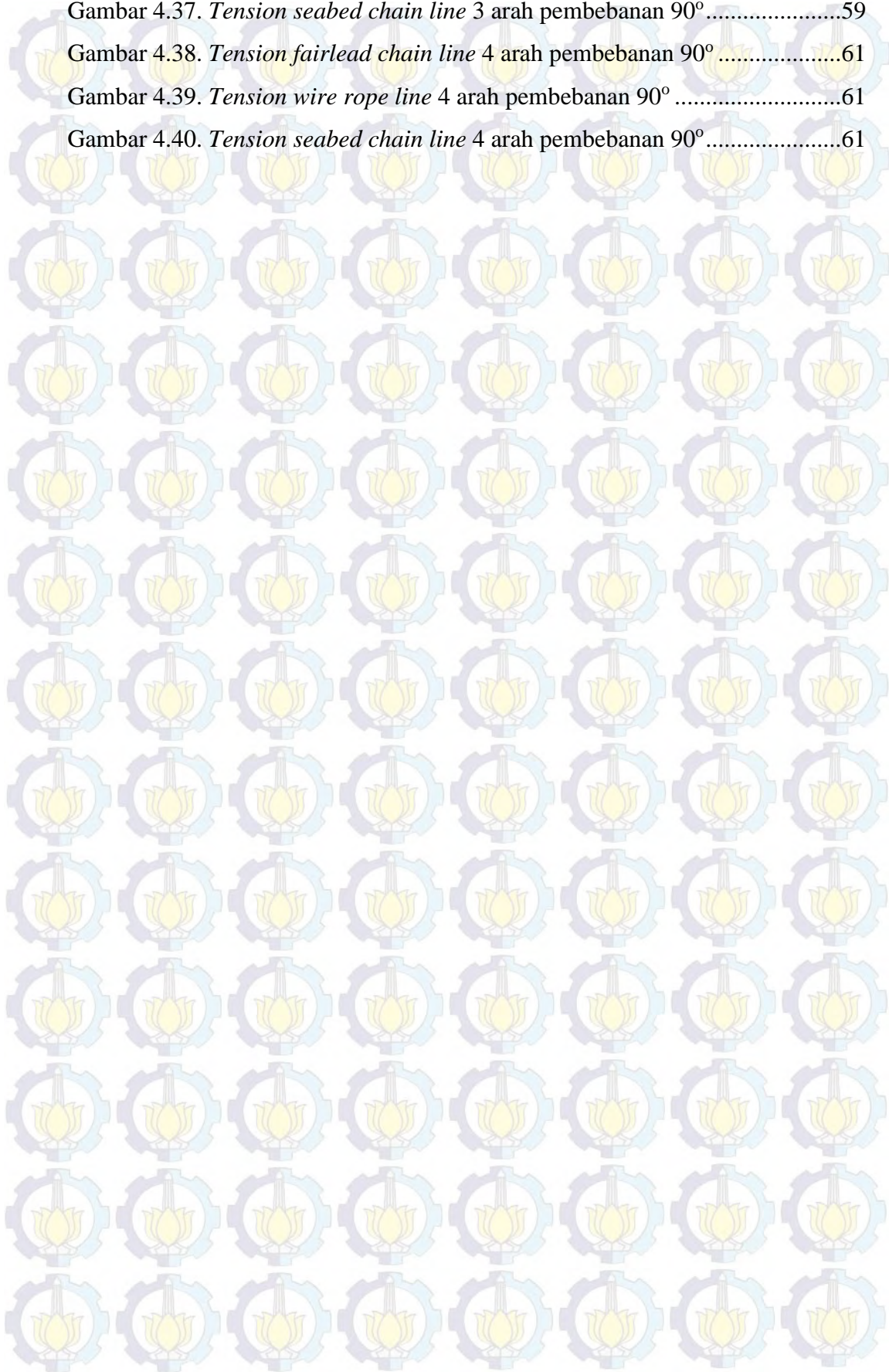
	Halaman
Tabel 3.1. Geometri <i>semisubmersible</i> dari penelitian.....	24
Tabel 3.2. Data <i>mooring line</i> berdasarkan API RP 2 SK.....	25
Tabel 3.3. Data lingkungan Laut Natuna dari <i>Metoccean</i> FPSO Belanak.....	26
Tabel 4.1. Validasi model	31
Tabel 4.2. Panjang <i>mooring line</i>	32
Tabel 4.3. Resume nilai RAO tertinggi untuk kondisi operasi <i>semisubmersible</i> saat terapung bebas (<i>free floating</i>)	46
Tabel 4.4. Resume nilai RAO tertinggi untuk kondisi operasi <i>semisubmersible</i> saat tertambat (<i>tethered</i>).....	46
Tabel 4.5. Perhitungan spektrum gelombang.....	47
Tabel 4.6. Nilai <i>tension</i> maksimum pada tiap line kondisi ULS	59
Tabel 4.7. Nilai <i>tension</i> maksimum pada line 4 kondisi ALS	62

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1. Teknologi yang paling diharapkan industri migas dalam beberapa tahun ke depan	1
Gambar 1.2. <i>Spread mooring system</i>	2
Gambar 2.1. Ilustrasi gerakan <i>six degree of freedom</i> pada FPSO.....	11
Gambar 2.2. Bentuk umum grafik respons gerakan bangunan apung	13
Gambar 2.3. Contoh <i>spread mooring arrangement</i>	15
Gambar 3.1. Diagram alir Tugas Akhir	23
Gambar 3.2. Konvensi arah datang gelombang pada <i>semisubmersible</i>	27
Gambar 4.1. Geometri <i>Semisubmersible</i>	29
Gambar 4.2. Permodelan <i>hull</i> dan <i>bracing</i> tampak isometri depan	30
Gambar 4.3. Skema konfigurasi <i>mooring line</i>	31
Gambar 4.4. RAO gerakan <i>heave semisubmersible</i> kondisi <i>free floating</i>	33
Gambar 4.5. RAO gerakan <i>surge semisubmersible</i> kondisi <i>free floating</i>	34
Gambar 4.6. RAO gerakan <i>sway semisubmersible</i> kondisi <i>free floating</i>	35
Gambar 4.7. RAO gerakan <i>roll semisubmersible</i> kondisi <i>free floating</i>	36
Gambar 4.8. RAO gerakan <i>pitch semisubmersible</i> kondisi <i>free floating</i>	37
Gambar 4.9. RAO gerakan <i>yaw semisubmersible</i> kondisi <i>free floating</i>	38
Gambar 4.10. RAO gerakan <i>heave semisubmersible</i> kondisi <i>tethered</i>	40
Gambar 4.11. RAO gerakan <i>surge semisubmersible</i> kondisi <i>tethered</i>	41
Gambar 4.12. RAO gerakan <i>sway semisubmersible</i> kondisi <i>tethered</i>	42
Gambar 4.13. RAO gerakan <i>roll semisubmersible</i> kondisi <i>tethered</i>	43
Gambar 4.14. RAO gerakan <i>pitch semisubmersible</i> kondisi <i>tethered</i>	44
Gambar 4.15. RAO gerakan <i>yaw semisubmersible</i> kondisi <i>tethered</i>	45
Gambar 4.16. Spektrum gelombang JONSWAP ($H_s = 5.3$ m, $T_p = 11.1$ s).....	47

Gambar 4.17. Respons spektra gerakan <i>heave semisubmersible</i> kondisi <i>free floating</i>	48
Gambar 4.18. Respons spektra gerakan <i>surge semisubmersible</i> kondisi <i>free floating</i>	48
Gambar 4.19. Respons spektra gerakan <i>sway semisubmersible</i> kondisi <i>free floating</i>	49
Gambar 4.20. Respons spektra gerakan <i>roll semisubmersible</i> kondisi <i>free floating</i>	49
Gambar 4.21. Respons spektra gerakan <i>pitch semisubmersible</i> kondisi <i>free floating</i>	49
Gambar 4.22. Respons spektra gerakan <i>yaw semisubmersible</i> kondisi <i>free floating</i>	50
Gambar 4.23. Respons spektra gerakan <i>heave semisubmersible</i> kondisi <i>tethered</i>	52
Gambar 4.24. Respons spektra gerakan <i>surge semisubmersible</i> kondisi <i>tethered</i>	52
Gambar 4.25. Respons spektra gerakan <i>sway semisubmersible</i> kondisi <i>tethered</i>	53
Gambar 4.26. Respons spektra gerakan <i>roll semisubmersible</i> kondisi <i>tethered</i>	53
Gambar 4.27. Respons spektra gerakan <i>pitch semisubmersible</i> kondisi <i>tethered</i>	53
Gambar 4.28. Respons spektra gerakan <i>yaw semisubmersible</i> kondisi <i>tethered</i>	54
Gambar 4.29. <i>Tension fairlead chain line</i> 7 arah pembebanan 0°	56
Gambar 4.30. <i>Tension wire rope line</i> 7 arah pembebanan 0°	56
Gambar 4.31. <i>Tension seabed chain line</i> 7 arah pembebanan 0°	57
Gambar 4.32. <i>Tension fairlead chain line</i> 6 arah pembebanan 45°	57
Gambar 4.33. <i>Tension wire rope line</i> 6 arah pembebanan 45°	57
Gambar 4.34. <i>Tension seabed chain line</i> 6 arah pembebanan 45°	58
Gambar 4.35. <i>Tension fairlead chain line</i> 3 arah pembebanan 90°	58
Gambar 4.36. <i>Tension wire rope line</i> 3 arah pembebanan 90°	58

Gambar 4.37. <i>Tension seabed chain line</i> 3 arah pembebanan 90°	59
Gambar 4.38. <i>Tension fairlead chain line</i> 4 arah pembebanan 90°	61
Gambar 4.39. <i>Tension wire rope line</i> 4 arah pembebanan 90°	61
Gambar 4.40. <i>Tension seabed chain line</i> 4 arah pembebanan 90°	61



DAFTAR PUSTAKA

Bhattacharyya, R. 1978. *"Dynamics of Marine Vehicles"*. Wiley. New York. USA.

Chakrabarti, S.K. 1987. *"Hydrodynamics of Offshore Structures"*. Computational Mechanics Publications Southampton. Boston. USA.

Chakrabarti, S.K. 2005. *"Handbook of Offshore Engineering"*. Offshore Structure Analysis, Inc. Plainfield. Illionis. USA.

Faltinsen, O.M. 1990. *"Sea Loads On Ships And Offshore Structures"*. Cambridge University Press. United Kingdom.

Djarmiko, E.B. 2012. *"Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di atas Gelombang Acak"*. ITS Press. Surabaya.

DNV RP C205. 2014. *"Environmental Conditions and Environmental Loads"*. Det Norske Veritas. Norway.

DNV OS E301. 2013. *"Position Mooring"*. Det Norske Veritas. Norway.

Oil Companies International Maritime Forum. 1989. *"Effective Mooring"*, Witherby & Co. Ltd. London.

Oil Companies International Maritime Forum. 2008. *"Mooring Equipment Guidelines 3rd edition"*. Bell & Bain Ltd. Glasgow.

Patel, M. H. dan Witz, J. A. 1991. *"Compliant Offshore Structures"*. University Press. Cambridge.

Rochani, I. dkk. 2013. *"Kajian Numerik Perancangan Geometri Struktur Bangunan Lepas Pantai Type Semisubmersible"*. LPPM Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

Publication DNV-GL. 2014. *"Challenging Climate, the Outlook for the Oil and Gas Industry 2014"*. Det Norske Veritas-Germanischer Lloyd (DNV-GL). Norway.

BIODATA PENULIS



Ade Lido Tanizar dilahirkan di Sorong pada 19 April 1992. Menempuh pendidikan di SDN Sumberdadi 1 Lamongan, SMPN 3 Darul Ulum Jombang, dan SMA Darul Ulum 2 Unggulan BPPT RSBI. Setelah itu penulis melanjutkan studi program Sarjana (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan - Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama masa kuliah, penulis pernah aktif menjadi staff ahli Media dan Informasi HIMATEKLA 12/13 periode 2012 - 2013. Dalam berbagai kepanitiaan baik lingkup

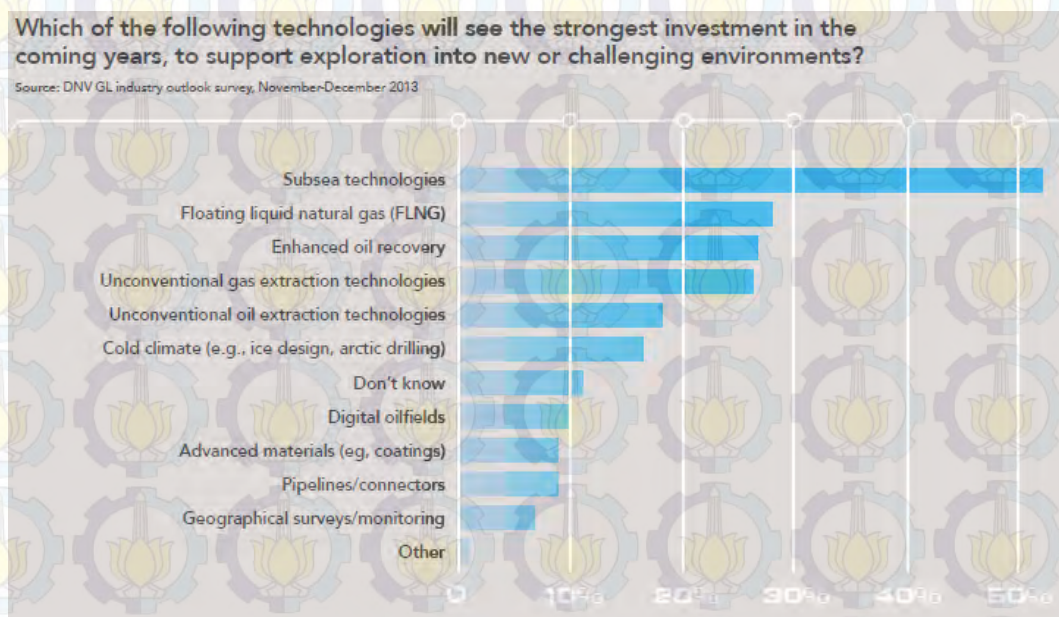
Institut maupun Jurusan juga pernah diikuti penulis. Penulis aktif dalam keanggotaan CSS MoRA ITS, dengan menjadi Wakil Ketua Program Kerja Besar Abdi Pesantren 2011 dan menjadi Ketua Program Kerja Bersama Abdi Pesantren 2012. Semasa kuliah penulis pernah bekerja praktek di perusahaan konsultan *offshore dan pipeline services* di PT. Zee Engineering Indonesia, Serpong. Dalam masa pendidikan, penulis sudah menyelesaikan kursus D1 pada Pendidikan Informatika dan Komputer Terapan ITS pada tahun 2013. Bidang yang dipilih oleh penulis adalah Hidrodinamika Lepas Pantai sehingga Tugas Akhir yang diambil berhubungan dengan perilaku Olah Gerak Bangunan Apung.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG MASALAH

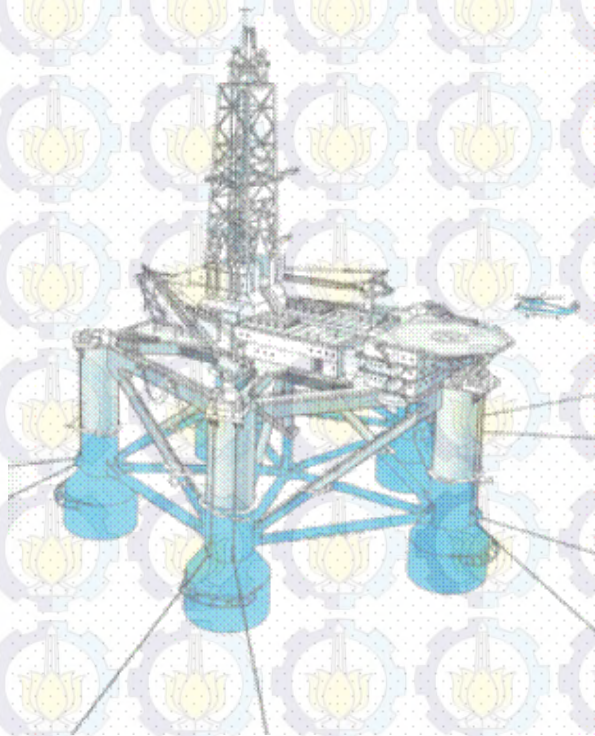
DNV (*Det Norske Veritas*) telah melakukan suatu riset survei jajak pendapat kepada para profesional yang bekerja pada bidang *offshore*, mengenai masa depan dunia minyak dan gas. Riset yang berjudul “*Challenging Climate, the Outlook for the Oil and Gas Industry 2014*” ini memberikan gambaran mengenai tantangan-tantangan masa depan yang akan dihadapi industri migas. Teknologi yang paling banyak diharapkan dalam industri ini di antaranya adalah teknologi *subsea*, kemudian pengembangan FLNG (*Floating Liquid Natural Gas*) dan teknologi *oil recovery*.



Gambar 1.1. Teknologi yang paling diharapkan industri migas dalam beberapa tahun ke depan (DNV GL, 2013)

Dalam pengembangan *subsea technology*, dimana sekarang ini sumber migas semakin berada di laut dalam (*deepwater*) dan kebutuhan eksplorasi migas yang semakin kompleks, teknologi *floating structure* yang mampu melakukan *drilling* di laut dalam semakin dibutuhkan.

Pada perkembangan awal, *floating structure* yang digunakan adalah *drilling ship*, yang dimana merupakan modifikasi dari *oil tanker*, *barge*, kapal tambang, atau *supply vessel* yang sudah ada untuk dijadikan *drilling ship* (Patel, 1991). Perkembangan dari teknologi kelautan membuat para insinyur membuat terobosan yaitu membuat *floating structure* yang bernama *semisubmersible*. *Semisubmersible* merupakan *floating structure* yang memiliki *platform* atau geladak, yang disangga oleh kolom yang menghubungkan *platform* dengan *displacement hulls*. Platform tersebut dapat juga disangga oleh beberapa *vertical caissons* (Rochani dkk., 2013). *Semisubmersible* dewasa ini banyak digunakan dalam eksplorasi laut dalam, dikarenakan sifatnya yang *mobile* dan juga memiliki properti *stabilitas* dan *seakeeping* yang sangat baik.



Gambar 1.2 *Spread mooring system* (offshoremoorings.org)

Saat dalam kondisi operasi, *semisubmersible* perlu untuk ditambat menggunakan suatu sistem tambat. Hal ini dilakukan utamanya untuk menjaga *semisubmersible* agar tetap pada tempatnya beroperasi, kemudian menjaga gerakan dari struktur agar respons struktur tidak mengganggu saat beroperasi. Untuk itu, dalam penelitian Tugas Akhir ini dilakukan analisis respons gerak dari

semisubmersible baik dalam kondisi *free floating* maupun *moored*, kemudian menganalisis *tension* dari line mooring yang digunakan.

1.2. RUMUSAN MASALAH

Perumusan masalah yang di angkat dalam proposal Tugas Akhir ini adalah

1. Bagaimana respons gerak dari *semisubmersible* pada saat *free floating*?
2. Bagaimana respons gerak dari *semisubmersible* pada saat kondisi *tethered* dengan menggunakan *spread mooring*?
3. Berapa besar *tension* yang terjadi pada setiap line dalam sistem tambat tersebut dan manakah line yang mengalami *tension* maksimum pada *semisubmersible* untuk kondisi pembebanan ULS dan ALS?

1.3. TUJUAN

Tujuan dari penelitian ini adalah

1. Mengetahui respons gerak dari *semisubmersible* pada saat *free floating*.
2. Mengetahui respons gerak dari *semisubmersible* pada saat kondisi *tethered* dengan menggunakan *spread mooring*.
3. Mengetahui besar *tension* yang terjadi pada setiap line dalam sistem tambat tersebut dan juga line yang mengalami *tension* maksimum pada *semisubmersible* untuk kondisi pembebanan ULS dan ALS

1.4. MANFAAT

Hasil dari Tugas Akhir ini akan dapat diketahui respons gerak yang dihasilkan oleh *semisubmersible* pada saat terapung bebas (*free floating*) maupun tertambat dengan *spread mooring* dalam gerakan *surge*, *sway*, *heave*, *roll*, *pitch* dan *yaw*. Dalam Tugas Akhir ini juga akan diketahui nilai *tension* maksimum yang dihasilkan oleh sistem tambat yakni untuk kondisi ULS (*all lines intact*) dan ALS (*one line damaged*) yang dialami. Dari *tension* maksimum tersebut akan dilakukan pengecekan terhadap *safety factor* sesuai dengan *rule* yang digunakan. Pengecekan tersebut dilakukan untuk memastikan bahwa nilai *tension* maksimum yang dihasilkan oleh tali tambat berada dalam batas aman. Apabila nilai *tension* tersebut sudah memenuhi batas aman, maka sistem tambat pada *semisubmersible* telah layak dan aman untuk beroperasi di ladang minyak yang diinginkan.

1.5. BATASAN MASALAH

Untuk memperjelas permasalahan pada penelitian ini, maka perlu adanya ruang lingkup pengujian atau asumsi-asumsi sebagai berikut:

1. *Semisubmersible* yang digunakan adalah diambil dari penelitian “Kajian Numerik Perancangan Geometri Struktur Bangunan Lepas Pantai *Type Semisubmersible*” oleh Imam Rochani, dkk. (2013).
Pontoon (L x B x H) = 60 x 10 x 5 (m)
Diameter column depan = 10 m
Diameter column belakang = 10 m
Diameter column tengah = 8 m
Diameter pelintang = 3 m
Lebar *semisubmersible* = 40 m
T (sarat) operasi = 18 m
Displacement = 12.000 ton
2. *Semisubmersible* diasumsikan sebagai *rigid body*, sehingga kekuatan struktur dari *semisubmersible* tidak diperhitungkan.
3. *Semisubmersible* diasumsikan akan dioperasikan di perairan Natuna.
4. Jumlah tali tambat adalah 12
5. Sistem tambat yang ditinjau dalam tugas akhir ini adalah *spreading mooring system* dengan analisis yang dilakukan adalah untuk kondisi ULS (*Ultimate Limit State*) atau *all lines intact*, dan ALS (*Accidental Limit State*) atau *one line damaged*.
6. *Riser* tidak dimodelkan.
7. Jangkar dianggap *fixed* sehingga tidak dilakukan analisis terhadap *holding capacity*.
8. Analisis dinamis menggunakan simulasi *time domain* sebagai metode untuk mencari nilai *tension* dari sistem tambat dan simulasi *frequency domain* untuk mencari respons struktur.
9. Perhitungan RAO menggunakan *software* Sesam HydroD, dan perhitungan *tension* sistem tambat menggunakan Sesam DeepC.
10. Standard (*rules*) pada Tugas Akhir mengacu pada DNV OS E301, DNV RP-C205 dan API RP 2SK.

1.6. SISTEMATIKA PENULISAN

Sistem penulisan dalam laporan tugas akhir ini dimulai dengan pendahuluan pada bab satu yang menjelaskan mengenai latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan yang ingin dicapai dari penelitian, manfaat yang diperoleh, batasan masalah dalam penelitian dan sistematika penulisan laporan tugas akhir ini.

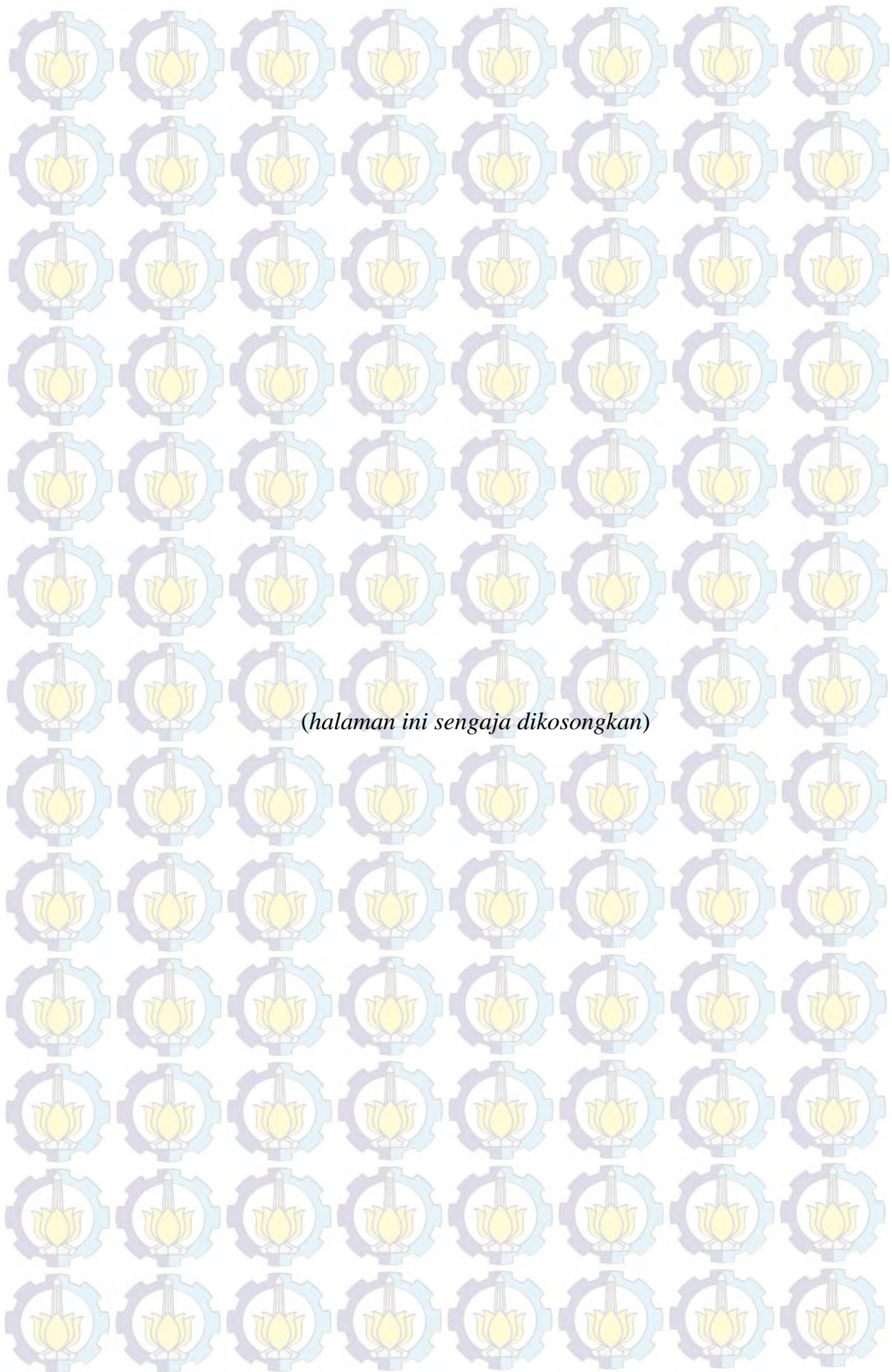
Bab dua menjelaskan mengenai tinjauan pustaka dan dasar teori yang dijadikan sumber referensi dalam tugas akhir ini. Referensi yang digunakan berasal dari berbagai penelitian mengenai perhitungan analisis risiko dan beragam hal tentang kerusakan pipa.

Langkah-langkah pengerjaan dan metodologi yang digunakan dalam penyelesaian tugas akhir ini dijelaskan pada bab tiga. Pada bab ini berisi tentang bagaimana langkah penelitian ini dilakukan. Langkah dalam melakukan penelitian diperlihatkan dalam sebuah diagram alir pengerjaan (*flow chart*) kemudian dijelaskan secara detail mulai dari *start* penelitian, pengumpulan data, pengerjaan analisis hasil, kesimpulan sampai pada selesainya penelitian.

Bab empat menjelaskan analisis dan pembahasan hasil pemodelan dan perhitungan dari penelitian. Bab ini menjelaskan tentang pengolahan data yang diperoleh, kemudian pemodelan struktur dan pemodelan sistem tambat. Selanjutnya, dalam bab ini juga dilakukan pembahasan dan pengolahan *output* yang diperoleh dari *running software* yang mencakup analisis gerakan struktur saat *free floating* maupun saat tertambat dengan *spread mooring*, serta mencari nilai *tension* pada *mooring line* dalam pembebanan kondisi ULS dan ALS.

Bab lima merupakan kesimpulan dan saran mengenai hasil analisis penelitian dan saran-saran yang bermanfaat dalam pengembangan analisis yang telah dilakukan.

Bagian akhir dari tugas akhir ini adalah daftar pustaka yang menampilkan seluruh informasi dan dokumen tertulis yang dijadikan landasan dan pengembangan penelitian. Penulisan daftar pustaka ini mengikuti standar penulisan Harvard.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. TINJAUAN PUSTAKA

Teknologi laut dalam (*deepsea technology*) di masa sekarang merupakan teknologi terpenting dalam industri lepas pantai. DNV sendiri telah melakukan penelitian, dimana teknologi yang paling banyak mendapat perhatian dan investasi ke depannya dalam dunia migas adalah *subsea technology*, kemudian pengembangan FLNG (*Floating Liquid Natural Gas*) dan teknologi *oil recovery* (DNV-GL, 2014).

Untuk kebutuhan *drilling* atau eksplorasi lepas pantai pada laut dalam, pilihan yang terbaik adalah menggunakan *floating structure*, yang tidak perlu dipancang dan memiliki .

Pada perkembangan awal, *floating structure* yang digunakan adalah *drilling ship*, yang dimana merupakan modifikasi dari *oil tanker*, *barge*, kapal tambang, atau *supply vessel* yang sudah ada untuk dijadikan *drilling ship* (Patel, 1991). *Drilling ship* memiliki mobilitas yang baik sebagai *Mobile Offshore Drilling Unit* (MODU), namun sedikit kurang produktif dikarenakan karakter *seakeeping* yang kurang baik (Patel, 1991)

Perkembangan dari teknologi kelautan membuat para insinyur membuat terobosan yaitu membuat *floating structure* yang bernama *semisubmersible*. *Semisubmersible* merupakan *floating structure* yang memiliki *platform* atau geladak, yang disangga oleh kolom yang menghubungkan *platform* dengan *displacement hulls*. Platform tersebut dapat juga disangga oleh beberapa *vertical caissons* (Rochani dkk., 2013). *Semisubmersible* dewasa ini banyak digunakan dalam eksplorasi laut dalam, dikarenakan sifatnya yang *mobile* dan juga memiliki properti *stabilitas* dan *seakeeping* yang sangat baik.

Saat dalam kondisi operasi, *semisubmersible* perlu untuk ditambat menggunakan suatu sistem tambat. Hal ini dilakukan utamanya untuk menjaga

semisubmersible agar tetap pada tempatnya beroperasi, kemudian menjaga gerakan dari struktur agar respons struktur tidak mengganggu saat beroperasi. Untuk itu, dalam penelitian Tugas Akhir ini dilakukan analisis respons gerak dari *semisubmersible* baik dalam kondisi *free floating* maupun *moored*, kemudian menganalisis *tension* dari line mooring yang digunakan.

2.2. DASAR TEORI

2.2.1. Analisis Respons

Respons bangunan apung terhadap gerakan frekuensi gelombang dapat diprediksi dengan salah satu dari dua metode berikut:

1. Analisis Kuasi-statis

Dalam pendekatan ini, beban gelombang dinamis dicatat oleh *offset* statis bangunan apung yang didefinisikan oleh gerakan gelombang yang di induksi. Hanya gerakan horizontal yang dijadikan acuan. Beban yang disebabkan oleh gerakan *fairlead* vertikal dan dinamika sistem mooring itu sendiri, seperti, efek massa, percepatan fluida dan redaman, diabaikan.

2. Analisis Dinamis

Analisis dinamis memperhitungkan respons dinamis dari tali tambat. Efek variasi waktu akibat massa tali tambat, redaman, dan percepatan relatif fluida disertakan. Dalam pendekatan ini, gerakan *fairlead* variasi waktu dihitung dari gerakan *surge*, *sway*, *heave*, *pitch*, *roll* dan *yaw* dari bangunan apung.

2.2.2. Dasar Analisis Dinamis

Berdasarkan DNV OS E301 (2013), metode analisis simulasi domain pada bangunan lepas pantai dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Frequency Domain Analysis

Frequency domain analysis adalah simulasi kejadian pada saat tertentu dengan interval frekuensi yang telah ditentukan sebelumnya. Metode ini bisa digunakan untuk memperkirakan respons gelombang acak, seperti gerakan dan percepatan platform, gaya tendon, dan sudut. Keuntungan metode ini adalah tidak

membutuhkan banyak waktu untuk perhitungan, *input* dan *output* juga lebih sering digunakan oleh perancang. Kekurangannya adalah untuk setiap persamaan *non-linear* harus diubah menjadi linear.

Pada *frequency domain analysis*, keseimbangan dinamik dari sistem linear dapat diformulasikan dengan Pers. (3.1).

$$M(\omega)r + C(\omega)r + K(\omega)r = Xe^{i\omega t} \quad (2.1)$$

dengan:

$M(\omega)$ = matriks massa fungsi frekuensi (ton)

$C(\omega)$ = matriks damping fungsi frekuensi (ton/s)

$K(\omega)$ = matriks kekakuan fungsi frekuensi (kN/m)

X = vektor beban kompleks memberikan informasi pada amplitudo beban dan fase pada semua derajat kebebasan. Pola $e^{i\omega t}$ menetapkan variasi harmonik dari contoh beban dengan frekuensi ω .

r = vektor *displacement* (m)

2. *Time domain analysis*

Time domain analysis adalah penyelesaian gerakan dinamis berdasarkan fungsi waktu. Pendekatan yang dilakukan dalam metode ini akan menggunakan prosedur integrasi waktu dan menghasilkan *time history response* berdasarkan fungsi waktu $x(t)$. Metode analisis *time domain* umumnya seperti program komputer dapat digunakan untuk menganalisis semua situasi tali tambat di bawah pengaruh dinamika frekuensi gelombang. Periode awal harus dimaksimalkan untuk meminimalkan efek *transient*. Namun, metode ini dalam membutuhkan proses lebih kompleks dan waktu yang lama. Hal ini membutuhkan simulasi *time history*. *Time history* memberikan hasil *tension* maksimum, beban jangkar, dan lain-lain.

Tugas Akhir ini menggunakan *simulasi time domain* sebagai metode untuk analisis dinamis dalam mencari nilai *tension* dan *simulasi frequency domain* untuk mencari respons struktur. Metode ini biasa digunakan pada kondisi

ekstrem tetapi tidak digunakan untuk analisis kelelahan (*fatigue*). *Output* dari simulasi *time domain* adalah:

- Simulasi gelombang reguler dapat digunakan untuk memprediksi fungsi transfer dengan mengambil rasio amplitudo respons dengan *input* amplitudo gelombang.
- Spektrum respons dapat dihitung dari *time series*, informasi yang diberikan sama dengan analisis domain frekuensi.
- Respons ekstrem dapat di simulasi langsung dari puncak respons selama simulasi.

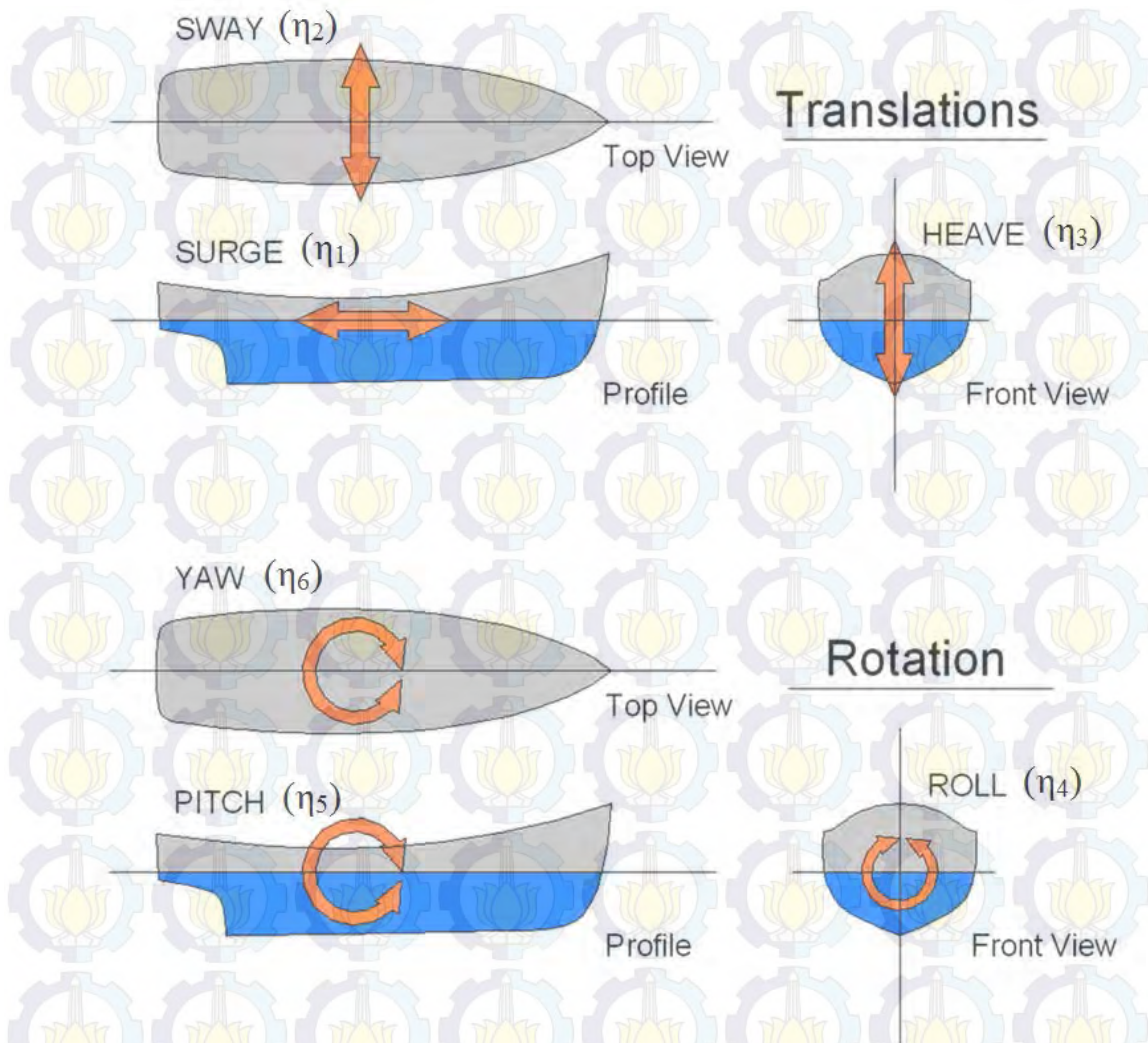
Keuntungan metode ini dibandingkan *frequency domain* adalah semua tipe *non-linear* (matriks sistem dan beban-beban eksternal) dapat dimodelkan dengan lebih tepat. Sedangkan kerugiannya adalah membutuhkan waktu perhitungan yang lebih. Di mana disyaratkan bahwa minimal simulasi *time domain* adalah selama 3 jam. (DNV OS E301, 2013)

2.2.3. Teori Dasar Gerakan Bangunan Apung

Bangunan apung memiliki enam mode gerakan bebas (*Six Degree of Freedom*) yang terbagi menjadi dua kelompok, yaitu 3 mode gerakan translasional dan 3 mode gerakan rotasional dalam 3 arah sumbu (Bhattacharyya, 1978).

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2, berikut adalah penjelasan keenam mode gerakan tersebut :

1. Mode Gerak *Translational*
 - a. *Surge*, gerakan transversal arah sumbu x
 - b. *Sway*, gerakan transversal arah sumbu y
 - c. *Heave*, gerakan transversal arah sumbu z
2. Mode Gerak Rotasional
 - a. *Roll*, gerakan rotasional arah sumbu x
 - b. *Pitch*, gerakan rotasional arah sumbu y
 - c. *Yaw*, gerakan rotasional arah sumbu z



Gambar 2.1 Ilustrasi gerakan *six degree of freedom* pada FPSO (HSE, 2006)

2.2.4. Perilaku Bangunan Apung Pada Gelombang Reguler

2.2.4.1. Teori Gelombang Reguler

Dengan mengasumsikan kondisi dasar laut adalah rata dan batasan horizontal pada permukaan bernilai tak hingga maka teori gelombang linear atau yang lebih dikenal dengan teori gelombang *Airy* dapat diterapkan.

Teori gelombang *Airy* merupakan teori gelombang yang paling sering digunakan dalam menghitung beban gelombang (*wave load*) yang terjadi pada struktur. Teori gelombang *Airy* juga bisa disebut dengan teori gelombang amplitudo kecil, yang menjelaskan bahwa asumsi tinggi gelombang adalah sangat kecil jika dibandingkan terhadap panjang gelombang atau kedalaman laut. Periode

gelombang diasumsikan sebagai *variable* konstan yang tidak berubah terhadap waktu. Jadi jika di laut diukur periode gelombang adalah 10 detik, maka periodenya akan tetap 10 detik selama gelombang tersebut menjalar. Nama Teori Gelombang *Airy* merupakan penghargaan kepada Sir. George Biddell Airy (1845) yang telah menemukan teori ini.

2.2.4.1. Response Amplitude Operator (RAO)

Response Amplitude Operator (RAO) atau disebut juga dengan *Transfer Function* merupakan fungsi respons yang terjadi akibat gelombang dalam rentang frekuensi yang mengenai struktur. RAO merupakan alat untuk mentransfer gaya gelombang menjadi respons gerakan dinamis struktur.

RAO memuat informasi tentang karakteristik gerakan bangunan laut yang disajikan dalam bentuk grafik, dimana absisnya adalah parameter frekuensi, sedangkan ordinatnya adalah rasio antara amplitudo gerakan pada mode tertentu, ζ_{k0} , dengan amplitudo gelombang, ζ_0 . Menurut Chakrabarti (1987), persamaan RAO dapat dicari dengan rumus:

$$RAO(\omega) = \frac{\zeta_{k0}(\omega)}{\zeta_0(\omega)} \quad (m/m) \quad (2.2)$$

dengan:

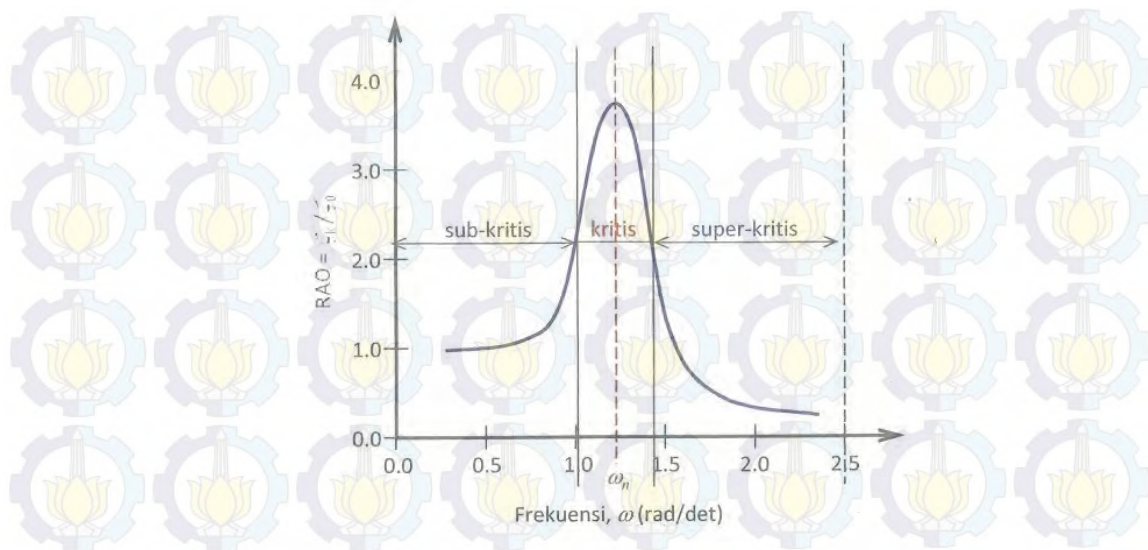
$\zeta_{k0}(\omega)$ = amplitudo struktur (m)

$\zeta_0(\omega)$ = amplitudo gelombang (m)

Respons gerakan RAO untuk gerakan translasi (*surge, sway, heave*) merupakan perbandingan langsung antara amplitudo gerakan dibanding dengan amplitudo gelombang insiden (keduanya dalam satuan panjang) (Djarmiko, 2012). Persamaan RAO untuk gerakan translasi sama dengan persamaan 2.2 di atas.

Sedangkan untuk respons gerakan RAO untuk gerakan rotasi (*roll, pitch, yaw*) merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan rotasi (dalam radian) dengan kemiringan gelombang, yakni yang merupakan perkalian antara gelombang ($k = \omega^2/g$) dengan amplitudo gelombang insiden (Djarmiko, 2012):

$$RAO(\omega) = \frac{\zeta_{k0}(\omega)}{\zeta_0(\omega)} = \frac{\zeta_{k0}}{(\omega^2/g) \zeta_0} \quad (rad/rad) \quad (2.3)$$



Gambar 2.2 Bentuk umum grafik respons gerakan bangunan apung (Djatkiko, 2012)

Berdasarkan Gambar 2.3, kurva respons gerakan bangunan apung pada dasarnya dapat dibagi menjadi tiga bagian:

- Pertama adalah bagian frekuensi rendah, atau gelombang (dengan periode) panjang, yang disebut daerah sub-kritis. Pada daerah ini bangunan laut akan bergerak mengikuti pola atau kontur elevasi gelombang yang panjang sehingga amplitudo gerakan kurang lebih akan ekuivalen dengan amplitudo gelombang, atau disebut sebagai *contouring*. Dalam korelasi persamaan hidrodinamis, di daerah frekuensi rendah, atau $\omega^2 < k/(m+a)$, gerakan akan didominasi oleh faktor kekakuan.
- Kedua adalah daerah kritis, meliputi pertengahan lengan kurva di sisi frekuensi rendah sampai dengan puncak kurva dan diteruskan ke pertengahan lengan kurva di sisi frekuensi tinggi. Puncak kurva berada pada frekuensi alami, yang merupakan daerah resonansi, sehingga respons gerakan mengalami magnifikasi, atau amplitudo gerakan akan beberapa kali lebih besar daripada amplitudo gelombang. Secara hidrodinamis di daerah frekuensi alami, yakni $k/(m+a) < \omega^2 < k/a$, gerakan akan didominasi oleh faktor redaman.
- Ketiga adalah daerah super kritis, yaitu daerah frekuensi tinggi, atau gelombang-gelombang (dengan periode) pendek. Pada daerah ini respons

gerakan akan mengecil. Semakin tinggi frekuensi, atau semakin rapat antara puncak-puncak gelombang yang berurutan, maka akan memberikan efek seperti bangunan laut bergerak di atas air yang relatif datar. Oleh karena itu gerakan bangunan laut diistilahkan sebagai *platforming*. Dalam hal korelasi hidrodinamis, gerakan di daerah frekuensi tinggi ini, dimana $\omega^2 < k/a$, gerakan akan didominasi oleh faktor massa (Djarmiko, 2012).

2.2.5. Faktor Non-Linear

Untuk memenuhi kondisi yang mendekati kenyataan pada analisis respons struktur maka faktor-faktor *non-linear* harus dipertimbangkan dalam perhitungan. Adapun faktor-faktor *non-linear* yang perlu diperhitungkan adalah sebagai berikut:

2.2.5.1. Beban Gelombang Second Order

Pengaruh beban gelombang *second order* akan tampak pada perilaku struktur bangunan apung yang tertambat. Pada gelombang regular, cara yang paling sederhana untuk mendefinisikan pengaruh *non-linear* adalah dengan melengkapi persamaan Bernoulli (Faltinsen, 1990).

Hasil dari persamaan tersebut dapat diklasifikasikan menjadi tiga komponen penyusun, yakni beban *mean wave drift*, beban osilasi variasi frekuensi dan beban osilasi dari penjumlahan frekuensi tersebut yang akan mendeskripsikan spektrum gelombang.

2.2.5.2. Beban Angin

Beban angin merupakan beban dinamis, tetapi beberapa struktur akan meresponsnya pada model statis yang paling mendekati. Dalam perancangan bangunan lepas pantai pada umumnya, perhitungan beban angin didasarkan pada besarnya kecepatan ekstrem dengan periode ulang 50 atau 100 tahun. Semakin lama periode ulang yang digunakan, maka risiko kegagalan semakin besar.

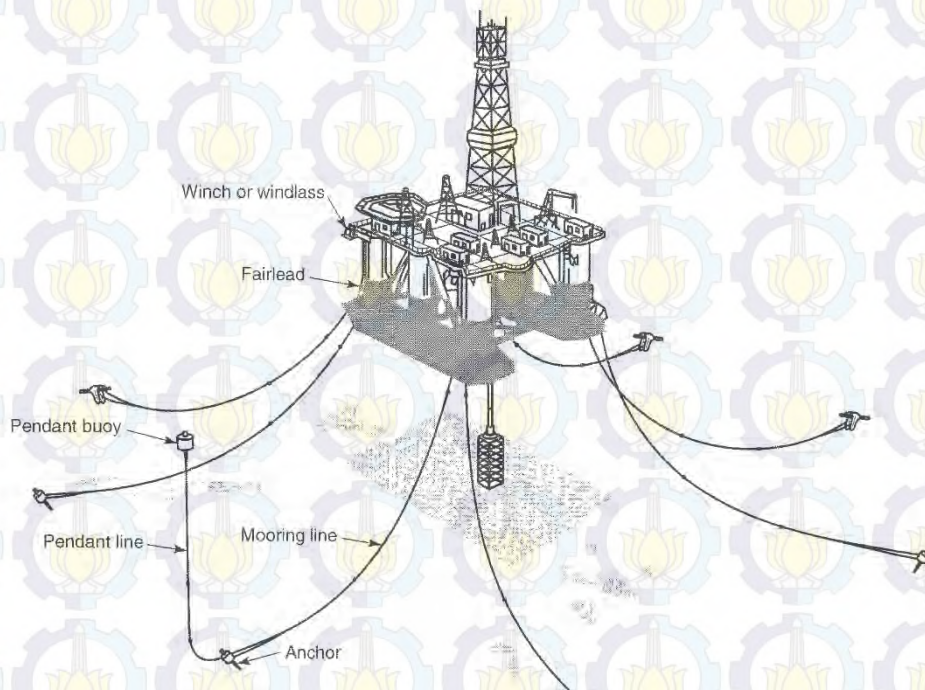
2.2.5.3. Beban Arus

Selain gelombang dan angin, arus juga memberikan gaya terhadap struktur bangunan lepas pantai. Arus akibat pasang surut memiliki kecepatan yang

semakin berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman sesuai fungsi *non-linear*. Sedangkan arus yang disebabkan oleh angin memiliki karakter yang sama, tetapi dalam fungsi linear.

2.2.6. Sistem Tambat

Sistem tambat (*mooring system*) pada *semisubmersible* berfungsi untuk menjaga posisi *semisubmersible* supaya tetap berada pada tempatnya. Secara garis besar, konfigurasi sistem tambat bisa berupa jenis tambat menyebar (*spread mooring*) dan jenis tambat titik tunggal (*single point mooring*). Untuk Tugas Akhir ini digunakan jenis Spread Mooring yang akan dipasang pada kolom-kolom dari *semisubmersible*.



Gambar 2.3 Contoh *Spread mooring arrangement* (API RP 2SK, 2005)

Penggunaan *spread mooring* pada *semisubmersible* lebih *feasible* dibandingkan menggunakan *spread mooring* pada *ship-shaped floating structure* seperti FPSO atau FSO, dikarenakan pengaruh gaya gelombang yang mengenai *semisubmersible* sendiri cukup minimal dari arah gelombang manapun. Hal ini dimungkinkan karena desain *semisubmersible* yang menggunakan kaki-kaki

column sebagai penyangga yang memungkinkan struktur memiliki stabilitas dan *seakeeping* yang baik.

2.2.7. Penentuan Panjang *Mooring Line*

Penentuan panjang *mooring line* berfungsi supaya *semisubmersible* pada penambatannya memiliki posisi yang tepat. Dan juga supaya *mooring line* itu sendiri memiliki panjang dan *pretension* yang sesuai.

Persamaan untuk menentukan panjang *line mooring* minimum yang diperlukan diberikan oleh Faltinsen (1990) sebagai berikut.

$$l_{min} = h \left(2 \frac{T_{max}}{w \cdot h} - 1 \right)^{1/2}$$

Dimana

l_{min} = panjang minimum *line mooring* (m)

h = jarak antara *fairlead* dengan *seabed* (m)

T_{max} = *Minimum Breaking Line* (MBL) (N)

w = berat *line mooring* per satuan meter (N/m)

2.2.8. Perilaku Bangunan Apung pada Gelombang Acak

2.2.8.1. Respons Bangunan Apung pada Gelombang Acak

Respons bangunan apung pada khususnya kapal yang diakibatkan oleh eksitasi gelombang acak telah diperkenalkan pertama kali oleh St. Denis dan Pierson (1953). Gerakan bangunan apung dalam kondisi ideal dapat dihitung sebagai reaksi adanya eksitasi gelombang sinusoidal, dengan karakteristik tinggi atau amplitudo dan frekuensi tertentu. Perhitungan kemudian dilakukan dengan mengambil amplitudo gelombang yang konstan, namun harga frekuensinya divariasikan dengan interval kenaikan tertentu.

Gelombang acak merupakan superposisi dari komponen-komponen pembentuknya yang berupa gelombang sinusoidal dalam jumlah tidak terhingga. Tiap-tiap komponen gelombang mempunyai tingkat energi tertentu yang dikontribusikan, yang kemudian secara keseluruhan diakumulasikan dalam bentuk spektrum energi gelombang (Djarmiko, 2012).

Dalam analisis respons bangunan apung pada gelombang reguler dapat diketahui pengaruh interaksi hidrodinamis pada massa tambah, *potential damping* dan gaya eksternal. Analisis tersebut menghasilkan respons struktur pada gelombang reguler. Respons struktur pada gelombang acak dapat dilakukan dengan mentransformasikan spektrum gelombang menjadi spektrum respons. Spektrum respons didefinisikan sebagai respons kerapatan energi pada struktur akibat gelombang. Hal ini dapat dilakukan dengan mengalikan harga pangkat kuadrat dari *Response Amplitude Operator* (RAO) dengan spektrum gelombang pada daerah struktur bangunan apung tersebut beroperasi. Persamaan respons struktur secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$S_r(\omega) = [RAO(\omega)]^2 \times S(\omega) \quad (2.4)$$

Dengan

$S_r(\omega)$ = Spektra respons ($m^2/\text{rad/s}$)

$S(\omega)$ = Spektra gelombang ($m^2/\text{rad/s}$)

$RAO(\omega)$ = *Transfer function*

2.2.8.2. Spektrum Gelombang

Pemilihan spektrum energi gelombang untuk memperoleh respons spektra suatu struktur didasarkan pada kondisi real laut yang ditinjau. Bila tidak ada, maka dapat digunakan model spektrum yang dikeluarkan oleh berbagai institusi dengan mempertimbangkan kesamaan fisik lingkungan. Dari spektrum gelombang dapat diketahui parameter-parameter gelombang seperti gelombang rata-rata, gelombang signifikan, dan lain-lain.

Analisis spektrum gelombang dapat menggunakan beberapa teori spektrum gelombang yang telah ada, antara lain model spektrum JONSWAP, Pierson-Moskowitz, Bretshneider, ISSC ataupun ITTC. Model matematis spektrum secara umum didasarkan pada satu atau lebih parameter, misalnya tinggi gelombang signifikan, periode gelombang, faktor permukaan, dan lain-lain. Salah satu model spektra adalah yang diajukan oleh Pierson Morkowitz pada 1964 dan masih secara luas digunakan. Aplikasi umum dari satu parameter spektrum gelombang Pierson-Moskowitz dibatasi oleh fakta jika kondisi laut adalah *fully developed*. Pengembangan dari laut juga dibatasi oleh *fetch*. Setelah itu, mulai

dikembangkan suatu spektrum untuk perairan dengan batasan *fetch* tertentu. Di mana spektrum tersebut merupakan turunan dari spektra Pierson-Moskowitz, yakni di ketahui sebagai *Joint North Sea Wave Project* (JONSWAP).

Pada Tugas Akhir ini, dalam analisisnya akan digunakan spektrum gelombang JONSWAP. JONSWAP merupakan proyek yang dilakukan pada perairan *North Sea*. Menurut DNV RP-C205 (2013), formulasi spektrum JONSWAP merupakan modifikasi dari spektrum *Pierson-Moskowitz*. Spektrum JONSWAP mendeskripsikan angin yang membangkitkan gelombang dengan kondisi *sea state* yang ekstrem.

Berikut adalah persamaan spektrum JONSWAP (DNV RP-C205, 2014)

$$S_j(\omega) = A_\gamma S_{PM}(\omega) \gamma^{\exp(-0,5(\frac{\omega - \omega_p}{\sigma \omega_p})^2)} \quad (2.5)$$

Dimana

S_{PM} = Spektra Pierson-Moskowitz

γ = parameter *peakshape*

σ = parameter *spectral width*

= 0,07 jika $\omega \leq \omega_p$

= 0,09 jika $\omega > \omega_p$

ω_p = *angular spectral peak frequency* (rad/s)

= $2\pi / T_p$

ω = *wave frequency* (rad/s)

Untuk Spektra Pierson-Moskowitz pada persamaan di atas menggunakan persamaan sebagai berikut. (DNV RP-C205, 2014)

$$S_{PM} = \frac{5}{16} \cdot H_s^2 \cdot \omega_p^2 \cdot \omega^{-5} \exp\left(-\frac{5}{4} \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^2\right) \quad (2.6)$$

Di mana

H_s = tinggi gelombang signifikan (m)

T_p = periode puncak (s)

2.2.9. Analisis Sistem Tambat pada Kondisi ULS dan ALS

Menurut API RP 2SK 2nd edition, analisis kekuatan sistem tambat dilakukan dalam dua kondisi pembebanan, yaitu kondisi *Ultimate Limit State* (ULS) dan *Accidental Limit State* (ALS). Berikut adalah penjelasan lebih lanjut mengenai dua kondisi pembebanan tersebut.

2.2.9.1. ULS (*Ultimate Limit State*)

Analisis ULS (*Ultimate Limit State*) dilakukan untuk memastikan bahwa sebuah tali tambat cukup kuat untuk bertahan terhadap efek beban yang ditimbulkan oleh beban lingkungan pada kondisi ekstrem. Dalam analisis *mooring* kondisi ULS, pembebanan terjadi pada kondisi operasi dimana tali tambat pada *semisubmersible* bekerja secara optimum/utuh tanpa ada *line* yang diputus.

2.2.9.2. ALS (*Accidental Limit State*)

Analisis ALS (*Accidental Limit State*) dilakukan untuk memastikan bahwa suatu sistem tambat memiliki kapasitas yang cukup untuk bertahan pada kegagalan sebuah tali tambat dimana penyebab dari terjadinya kegagalan tersebut tidak diketahui. Dalam analisis *mooring* kondisi ALS, pembebanan terjadi pada kondisi operasi tetapi terdapat satu tali tambat yang diputus secara bebas. Analisis ini biasa disebut dengan analisis *one line damaged*.

2.2.10. Tension pada Tali Tambat

Gerakan pada *semisubmersible* karena pengaruh beban lingkungan menyebabkan adanya tarikan pada *mooring line*. Tarikan (*tension*) yang terjadi pada *mooring line* dapat dibedakan menjadi 2, yaitu :

a. *Mean Tension*

Tension pada *mooring line* yang berkaitan dengan *mean offset* pada vessel.

b. *Maximum Tension*

Mean tension yang mendapat pengaruh dari kombinasi frekuensi gelombang dan *low-frequency tension*.

Menurut Faltinsen (1990), perhitungan *tension* maksimum tali tambat dapat menggunakan persamaan di bawah ini:

$$T_{\max} = T_H + wh \quad (2.7)$$

Dengan :

T_{\max} = *tension* maksimum tali tambat (ton)

T_H = horizontal *pre-tension* (ton)

W = berat *chain* di air (ton/m)

H = kedalaman perairan (m)

Untuk mengetahui apakah desain sistem tambat pada suatu struktur telah memenuhi batas aman atau tidak, maka harus dilakukan pengecekan terlebih dahulu. Pengecekan tersebut salah satunya didasarkan pada nilai *tension* yang dihasilkan oleh masing-masing tali tambat. Nilai *tension* pada tali tambat harus sesuai dengan kriteria/batasan yang memenuhi *safety factor*. Kriteria *safety factor* tersebut berdasar pada suatu *rule*. Dan yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah mengacu pada *rule* API RP 2SK (2005), yakni sebagai berikut:

Tabel 2.1 Kriteria *safety factor* tali tambat

<i>Condition</i>	<i>Safety Factor</i>
<i>Intact</i> (ULS)	> 1.67
<i>Damaged</i> (ALS)	> 1.25

Dengan persamaan *safety factor* menurut API RP 2SK adalah:

$$\text{Safety factor} = \frac{\text{Minimum Breaking Loads}}{\text{Maximum tension}} \quad (2.8)$$

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 METODE PENELITIAN

Penelitian ini menganalisis perilaku *semisubmersible* menggunakan konfigurasi *spread mooring* menggunakan simulasi berbasis *time domain*. Berikut akan dijabarkan urutan langkah-langkah dalam penelitian Tugas Akhir ini.

1. Studi Literatur dan Pengumpulan Data

Untuk Tugas Akhir ini, langkah awalnya adalah melakukan studi literatur untuk mempelajari *semisubmersible* dan *mooring*. Studi literatur yang digunakan meliputi *textbook*, jurnal-jurnal, laporan penelitian, *rules*, tugas-tugas akhir yang telah dilakukan, maupun melalui artikel internet. Untuk data yang diperlukan di antaranya adalah data struktur *semisubmersible*, data *mooring*, dan data lingkungan. Data struktur dan data *mooring* di peroleh dari penelitian yang telah dilakukan Imam Rochani, dkk (2013). Untuk data lingkungan diambil data dari data *metocean* dari laut Natuna. Hal ini mengingat bahwa struktur *semisubmersible* pada Tugas Akhir ini memiliki geometri yang termasuk kecil. Sehingga pengoperasiannya akan optimal untuk laut yang .

2. Melakukan pemodelan struktur

Struktur *semisubmersible* akan dimodelkan menggunakan *software* Sesam GeniE. Pemodelan diusahakan mendekati model bentuk sebenarnya dari referensi. *Mooring* yang digunakan menggunakan metode *spread mooring*.

3. Melakukan validasi model

Validasi model diperlukan agar model struktur yang telah dibuat sesuai atau *comply* dengan data struktur yang dimodelkan. Untuk keperluan ini dilakukan analisis hidrostatis dengan menggunakan *software* Sesam HydroD. Jika model sudah sesuai dengan kriteria, maka dapat dilanjutkan ke tahap selanjutnya, namun jika belum sesuai maka perlu dilakukan perbaikan pada model struktur.

4. Analisis respons gerak *semisubmersible* kondisi *free floating*.

Setelah validasi dilakukan, selanjutnya dilakukan analisis hidrodinamis pada struktur *semisubmerible* dalam kondisi *free floating*. Analisis ini akan

menggunakan bantuan *software* Sesam HydroD. Analisis ini akan menghasilkan *output* berupa respons spektra.

5. Analisis respons gerak *semisubmersible* dalam kondisi *moored*

Setelah melakukan analisis respons gerak dalam kondisi *free floating*, maka selanjutnya *semisubmersible* dimodelkan dalam kondisi terpancang dengan memasukkan data-data *mooring* yang telah di peroleh. *Mooring* menggunakan metode *spread mooring* pada tiap-tiap *column* dari *semisubmersible*. Kemudian setelah dimodelkan, maka selanjutnya dilakukan analisis hidrodinamis dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* Sesam HydroD.

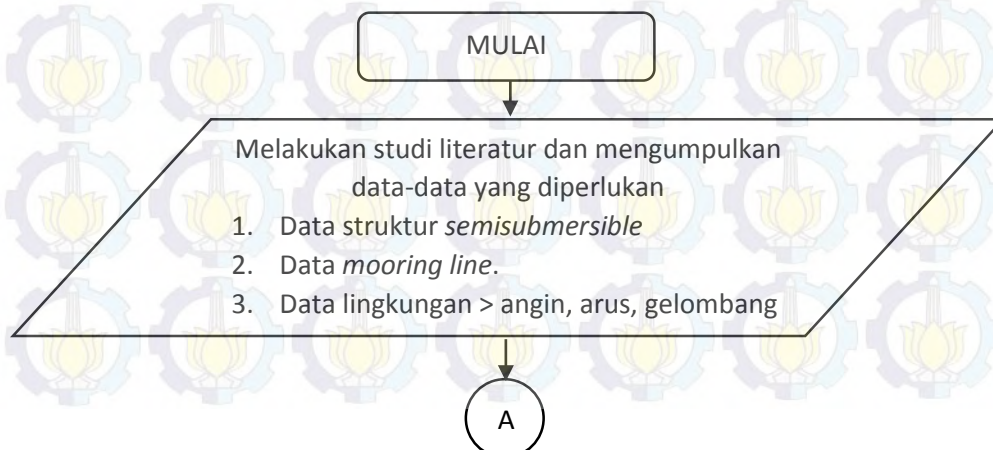
6. Analisis *mooring* menggunakan simulasi *time domain*.

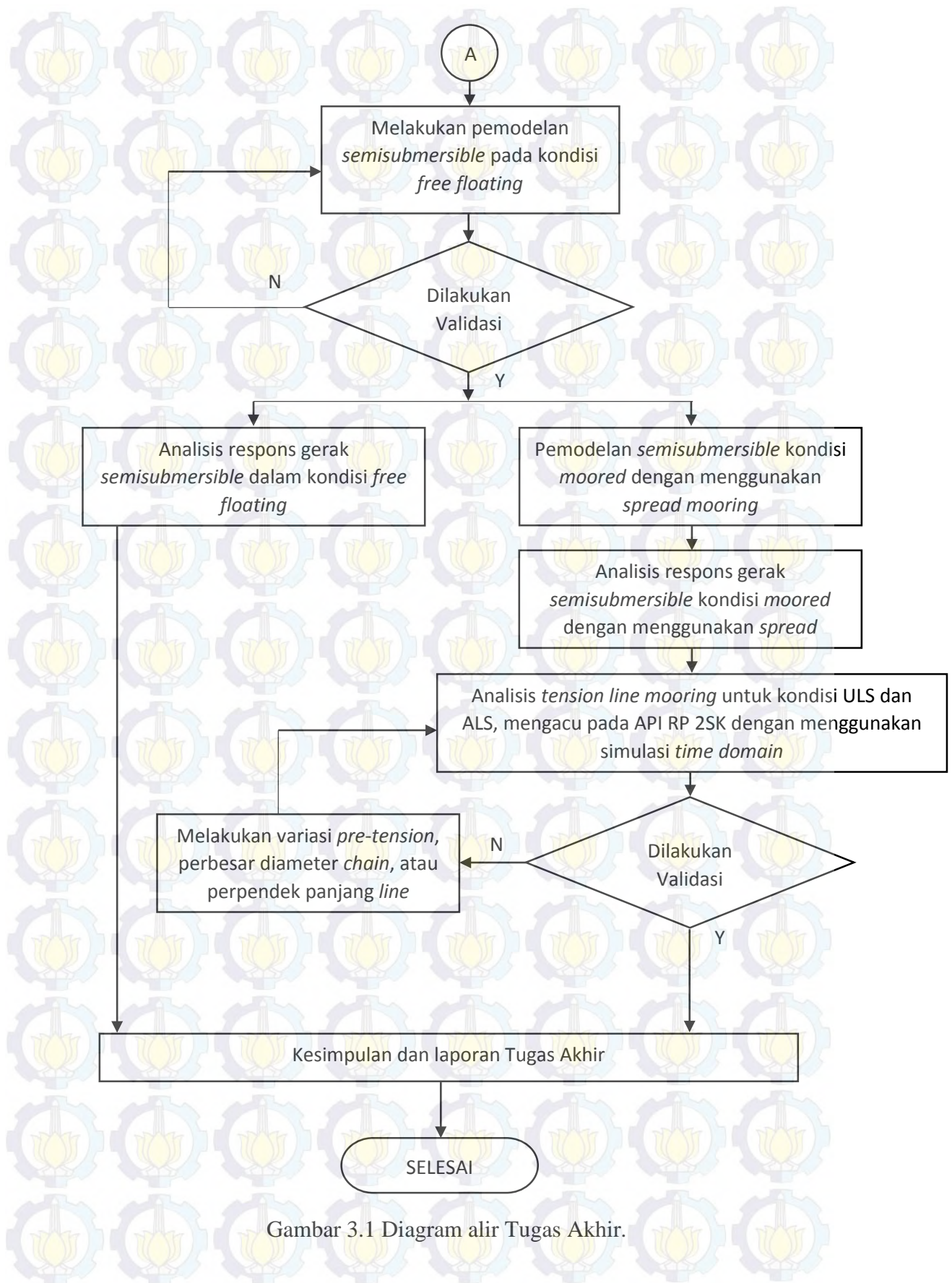
Analisis selanjutnya yang dilakukan pada adalah menghitung nilai *tension* pada setiap *line mooring* yang digunakan pada *semisubmersible*. Nilai *tension* pada *line mooring* yang diperoleh kemudian diperiksa apakah sesuai dengan *safety factor* yang mengacu pada API RP 2SK. Analisis ini akan menggunakan bantuan *software* Sesam DeepC.

Analisis ini dilakukan dalam simulasi berbasis *time domain*. Berdasarkan *rules* DNV OS E301 (2013), disyaratkan bahwa simulasi *time domain* dilakukan minimal selama 3 jam.

Ada dua kondisi analisis yang akan dilakukan yaitu pada kondisi *intact* atau ULS (*Ultimate Limit State*) dan kondisi *damage* atau ALS (*Accidental Limit State*) dengan satu *line mooring* terputus. Pada kondisi *intact*, analisis akan dilakukan pada satu arah pembebanan saja, yaitu pada arah pembebanan yang memberikan pengaruh paling signifikan ketika dilakukan analisis *intact*.

Adapun langkah-langkah penyelesaian tugas akhir ini ditunjukkan dalam diagram alir seperti tampak pada diagram alir di bawah ini.





Gambar 3.1 Diagram alir Tugas Akhir.

3.2 PENGUMPULAN DATA

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini data yang digunakan adalah berupa data struktur, data *mooring* dan data lingkungan. Data struktur didapatkan dari penelitian Imam Rochani, dkk (2013). Dan data lingkungan didapatkan dari data *metocean* FPSO Belanak. Data lingkungan yang dipilih sesuai dengan saran dari penelitian sebelumnya dimana geometri *semisubmersible* yang digunakan tergolong berukuran kecil. Berikut ini adalah data-data yang digunakan dalam penelitian:

- Data Struktur

Data struktur *semisubmersible* yang digunakan untuk Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut ini:

Tabel 3.1 Geometri *semisubmersible* dari penelitian

Nomor	Nama Bagian	Dimensi (meter)
1	Pontoon (L x B x H)	64 x 10 x 6
2	Diameter Column Depan	10
3	Diameter Column Belakang	10
4	Diameter Column Tengah	8
5	Diameter Pelintang	3
6	Lebar <i>Semisubmersible</i>	40
7	Sarat Operasi	18
8	Displacement (ton)	12,000
9	Tinggi Metacenter Awal	2,008
10	Jumlah Tanki Ballast Starboard Side	48
11	Jumlah Tanki Ballast Port Side	48

- Data *Mooring Line*

Untuk mendapatkan hasil yang optimal mengingat kedalaman perairan sebesar 150 m, maka sistem tambat yang digunakan adalah model gabungan dari *wire rope* menggunakan *spiral strand* dan *chain* dengan spesifikasi sebagai berikut.

Tabel 3.2 Data *mooring line* berdasarkan API RP 2SK

Deskripsi	Satuan	Jumlah
<i>Mooring Line</i>		
Sudut Antara <i>Mooring Line</i> (Pada Kolom)	10°	
Banyak Tali Tambat		12
<i>Wire Rope tipe Spiral Strand</i>		
Diameter	mm	82
Berat di udara	ton/m	0.0351
Berat di air	ton/m	0.0275
Stiffness	AE	627000
Minimum Breaking Load (MBL)	kN	6550
<i>Chain tipe Studless R4</i>		
Diameter	mm	95
Berat di udara	ton/m	0.1810
Berat di air	ton/m	0.1570
Stiffness	AE	794848
Minimum Breaking Load (MBL)	kN	6964
<i>Anchor, Weight & Type : 8 x 4MT Stevpris MK5</i>		

- *Data Lingkungan*

Data lingkungan pada penelitian ini bersumber pada data lingkungan *metocean* yang sama yang digunakan pada FPSO Belanak. Hal ini telah menjadi saran dari penelitian sebelumnya dimana geometri *semisubmersible* tergolong kecil, sehingga digunakan laut Natuna sebagai objek data lingkungan pada Tugas Akhir ini.

Sesuai dengan kriteria data yang telah ditetapkan dalam DNV OS E301 (2013), maka kriteria data lingkungan yang ditetapkan adalah

- Data gelombang dengan periode ulang 100 tahun.
- Kecepatan angin rata-rata pada 10 m di atas *mean sea level* dengan periode ulang 100 tahun
- Kecepatan arus di permukaan air laut dengan periode ulang 10 tahun.

Rangkuman data yang diperlukan dapat dilihat pada Tabel 3.3

Tabel 3.3 Data lingkungan Laut Natuna dari *metocean* FPSO Belanak

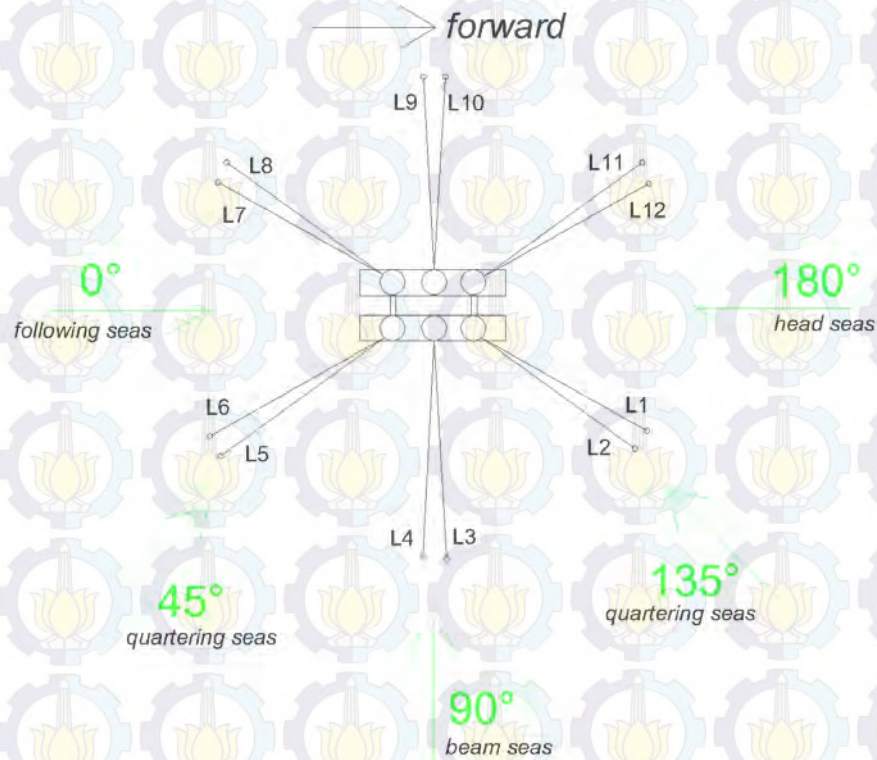
Deskripsi	Satuan	Jumlah
Kedalaman Perairan	m	150
Wave		
<i>Return period 100 years (sea-state 6)</i>		
Significant wave height, H_s	m	5.3
Peak periode	s	11.1
Wind		
<i>Return period 100 years</i>		
Wind speed 10 m above the water surface, U_{wind}	m/s	28
Current		
<i>Return period 10 years</i>		
Surface current speed, U_{cur}	m/s	1

- Data Arah Datang Gelombang

Arah 0° adalah arah propagasi gelombang yang memiliki arah sama dengan arah melajunya bangunan laut, dengan kata lain arah 0° menunjukkan bahwa beban tersebut datang dari arah buritan *semisubmersible*. Gelombang yang memiliki arah 0° diistilahkan sebagai *following seas*. Sedangkan untuk 180° menunjukkan bahwa beban tersebut datang dari arah sebaliknya yaitu dari arah haluan *semisubmersible*. Gelombang yang memiliki arah 180° diistilahkan sebagai *head seas*. Selanjutnya, untuk 90° berarti beban tersebut datang dari arah samping/sisi dan tegak lurus terhadap sumbu memanjang *semisubmersible*. Gelombang yang datang dari arah 90° diistilahkan sebagai *beam seas*. Dan yang terakhir, arah 45° dan 135° merupakan arah seperempat kali sudut 180° sehingga disebut sebagai *quartering seas* atau gelombang perempat.

Pada penelitian ini, arah pembebanan yang digunakan adalah mulai dari 0° sampai dengan 180° . Hal ini dikarenakan generalisasi beban yang mengenai badan *semisubmersible* cukup pada salah satu sisi yakni sebelah kanan saja, karena bentuknya yang simetris antara sisi kanan dan sisi kiri. Oleh sebab itu,

pemakaian *heading* 0° sampai dengan *heading* 180° dianggap cukup dan mewakili beban yang datang dari arah sebaliknya (225° , 270° , dan 315°). Hal ini berlaku sama ketika dilakukan analisis pada kondisi terapan bebas dan tertambat pada *software* .Sesam HydroD dan Sesam DeepC.



Gambar 3.2 Konvensi arah datang gelombang pada *semisubmersible*.

BAB IV

ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. PEMODELAN DAN VALIDASI STRUKTUR SEMISUBMERSIBLE

Untuk permodelan struktur, digunakan *software* Sesam Genie untuk memodelkan struktur yang diperoleh dari hasil penelitian Imam Rochani dkk. (2013). Data ukuran utama adalah sebagai berikut.

Poonton (L x B x H) = 64 x 10 x 5 (m)

Diameter column depan = 10 m

Diameter column belakang = 10 m

Diameter column tengah = 8 m

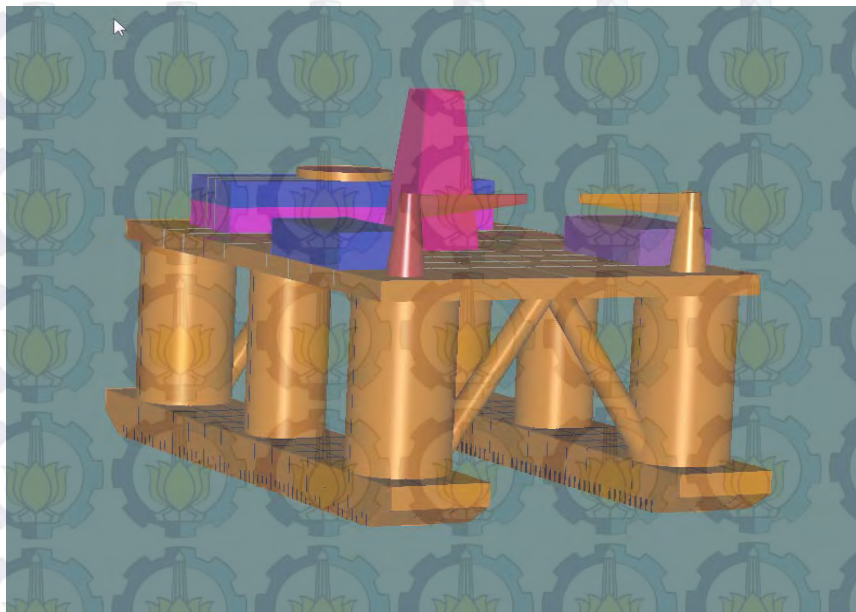
Diameter pelintang = 3 m

Lebar *semisubmersible* = 40 m

T (sarat) operasi = 18 m

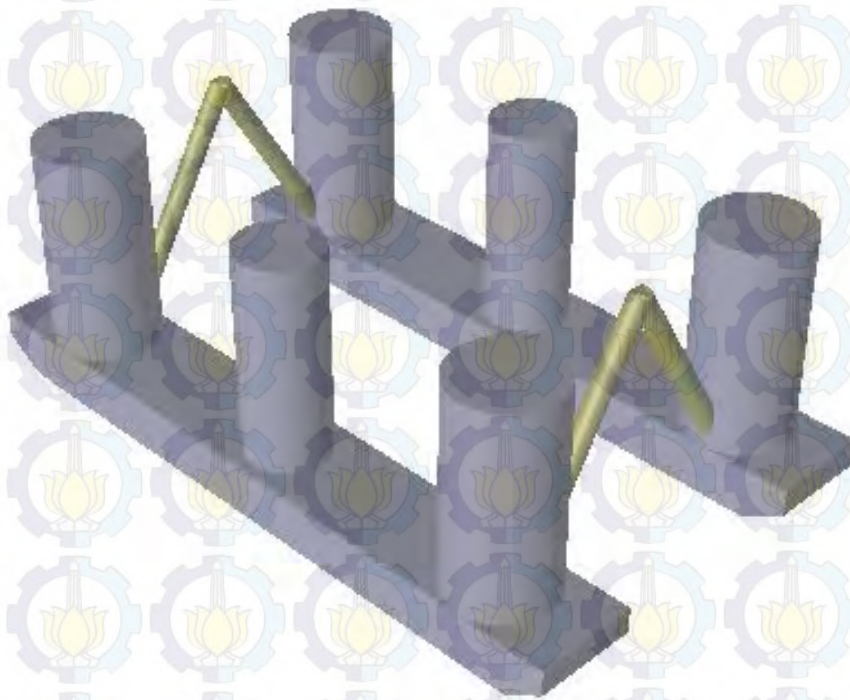
Displacement = 12.000 ton

Berikut adalah pemodelan yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya menggunakan *software* Maxsurf 20.



Gambar 4.1 Geometri *semisubmersible* (Rochani dkk., 2013)

Berdasarkan informasi dari model *semisubmersible* pada penelitian Rochani dkk. di atas, kemudian dilakukan pemodelan pada *software* Sesam Genie. Pemodelan dilakukan dengan melakukan *export* data-data model pada Maxsurf 20 ke dalam format yang kompatibel dengan Sesam Genie, lalu dilakukan *adjusting* model untuk memodelkan *hull shell* dan *bracing* untuk kemudian dapat dilakukan analisis selanjutnya. Berikut adalah hasil dari pemodelan pada Sesam Genie di bawah ini.



Gambar 4.2 Pemodelan *hull* dan *bracing* tampak *isometri*

Analisis *semisubmersible* ini akan dilakukan untuk kondisi operasi. Pada penelitian sebelumnya telah ditetapkan bahwa sarat operasi pada *semisubmersible* yang digunakan adalah 18 m.

Dari penelitian yang sudah dilakukan oleh Rochani dkk. (2013), telah di kalkulasi nilai dari properti hidrostatik pada *semisubmersible* pada kondisi operasi. Hasil perbandingan dari data penelitian dengan hasil analisis Hidrostatik pada *software* Sesam HydroD adalah sebagai berikut.

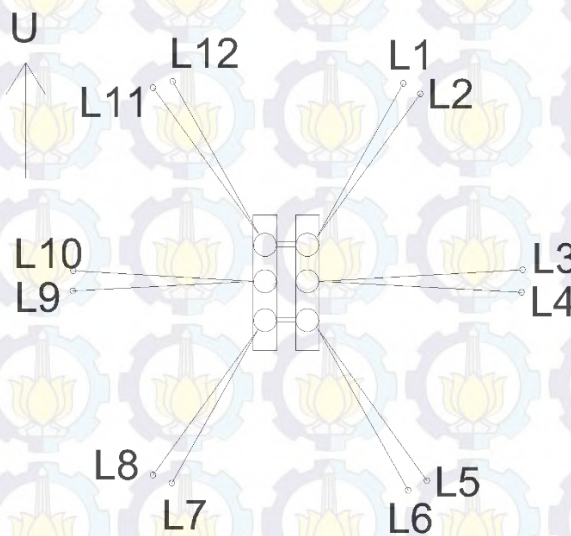
Tabel 4.1 Validasi model

	Unit	Data Penelitian Rochani dkk. (2013)	Hasil perhitungan pada Sesam HydroD	Selisih	Kriteria	
					ABS	Ket.
Displacement	ton	12000	12098	0,8%	< 2%	OK
Draft	m	18	18	0%	< 1%	OK
VCG	M	14.58	14.58	0%	< 1 %	OK
KB	m	6.440	6.446	0.3%	< 1%	OK
Waterplane Area	m ²	428	426	0.4%	< 1%	OK

Dari hasil validasi model seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1 di atas, maka dapat diketahui bahwa model yang dibuat dengan *software* Sesam HydroD tersebut sudah memenuhi kriteria dari ABS dan layak untuk digunakan dalam analisis.

4.2. KONFIGURASI *MOORING LINE*

Pada Tugas Akhir ini akan dianalisis konfigurasi tali tambat tipe *spread mooring*. *Semisubmersible* dirancang dengan tali tambat sejumlah 12 buah yang dipasang secara menyebar dan simetris. Tali tambat tersebut dipasang pada *fairlead* pada kolom dari *semisubmersible*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.3.

Gambar 4.3 Skema konfigurasi *mooring line*.

Sedangkan untuk panjang line mooring didasarkan pada penelitian yang dilakukan oleh Faltinsen (1990) yang didukung oleh API RP 2SK. Dari perhitungan yang dilakukan, maka didapatkan hasil panjang tali tambat sebagai berikut.

Tabel 4.2 Panjang *mooring line*

Deskripsi	Panjang Tali
<i>Fairlead Chain</i>	45.7 m
<i>Wire Rope tipe Spiral Strand</i>	650 m
<i>Seabed Chain</i>	200 m
Total Panjang Tali Tambat	895.7 m

4.3 SKENARIO ANALISIS RESPON GERAK SEMISUBMERSIBLE

Sebelum melakukan analisis respons gerak, terlebih dahulu dijelaskan skenario mengenai kondisi sarat dan arah pembebanan yang akan dikenakan pada *semisubmersible*. Seperti yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya, *semisubmersible* akan dimodelkan dengan kondisi sarat pada saat operasi yaitu setinggi 18 m. Untuk arah pembebanan untuk analisis yang akan dilakukan dijabarkan sebagai berikut.

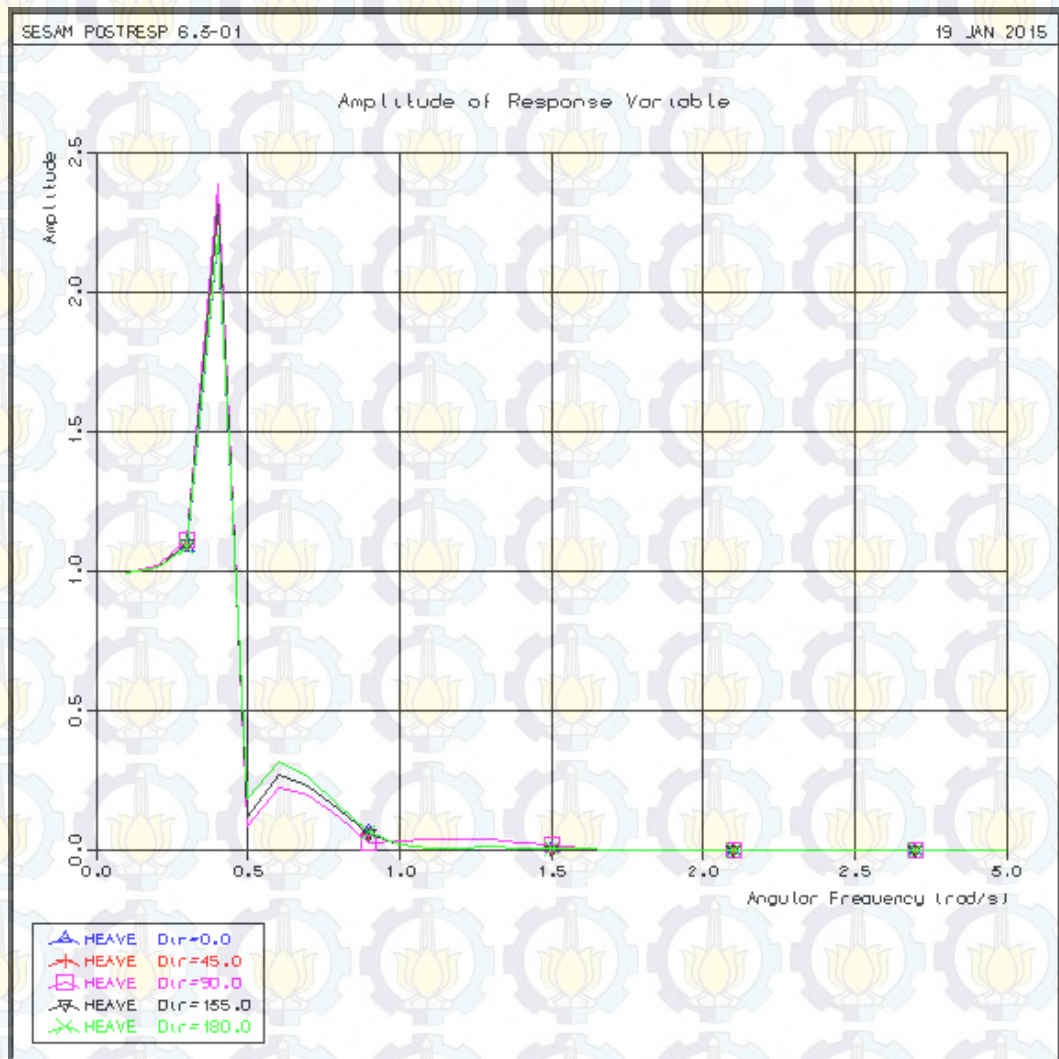
- Semisubmersible* dikenai beban arah 0° (*following seas*)
- Semisubmersible* dikenai beban arah 45° (*stern quartering seas*)
- Semisubmersible* dikenai beban arah 90° (*beam seas*)
- Semisubmersible* dikenai beban arah 135° (*bow quartering seas*)
- Semisubmersible* dikenai beban arah 180° (*head seas*)

4.4. ANALISIS RESPON SEMISUBMERSIBLE PADA GELOMBANG REGULER

4.4.1. Analisis Respons *Semisubmersible* pada Gelombang Reguler kondisi *Free Floating*

Analisis respons *semisubmersible* pada gelombang reguler yang dilakukan dengan *software* Sesam HydroD akan menghasilkan RAO (*Response Amplitude Operator*). RAO tersebut dijabarkan dalam gerakan enam derajat kebebasan (*six*

degree of freedom) surge, sway, heave, roll, pitch dan yaw. Data RAO ini menunjukkan karakteristik perilaku gerak *semisubmersible* saat terapung bebas (*free floating*) pada gelombang reguler. Grafik fungsi transfer/RAO akan disajikan dengan absis (sumbu-x) berupa *wave frequency* (rad/s) dan sumbu-y berupa besar RAO (m/m), untuk gerakan translasional dan deg/m, untuk gerakan rotasional. Berikut ditampilkan hasil dari analisis RAO untuk tiap moda gerakan.

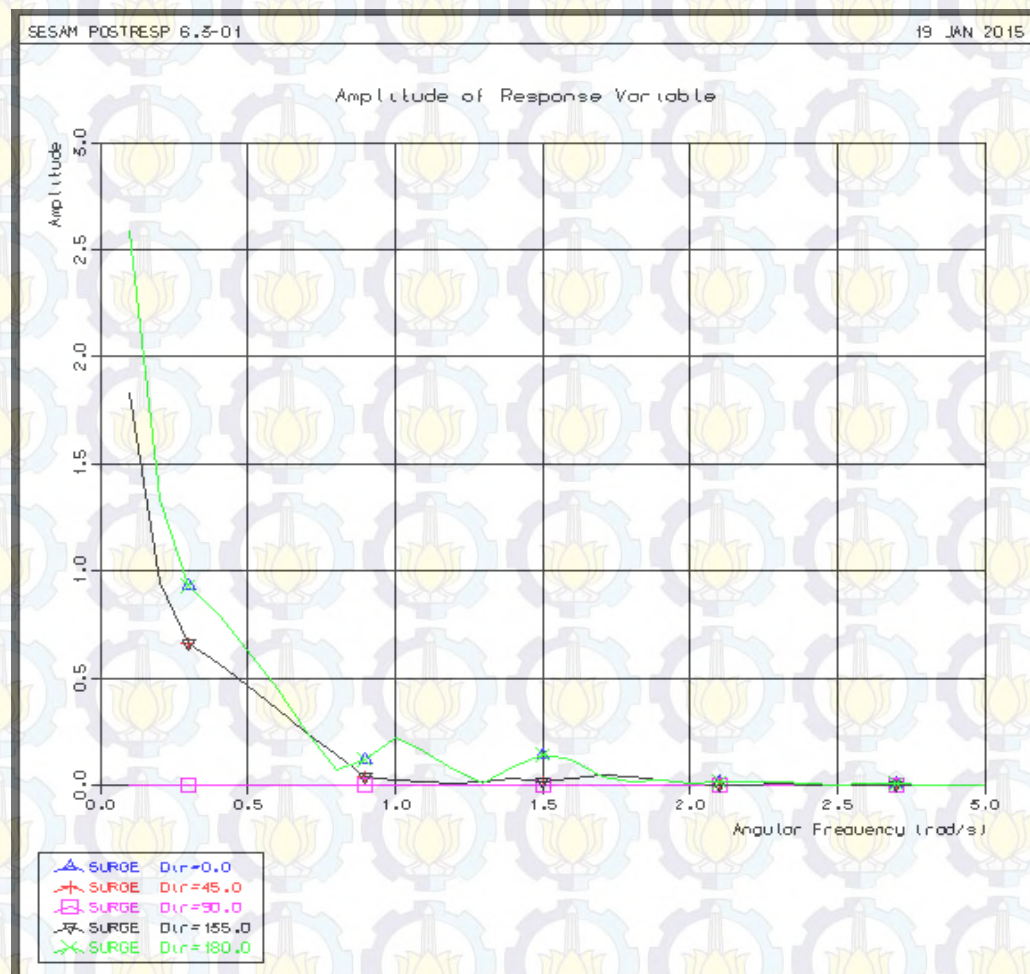


Gambar 4.4 RAO gerakan *heave semisubmersible* kondisi *free floating*

Gerakan *heave* merupakan salah satu pola gerakan vertikal bangunan apung. Seperti pada Gambar 4.4 bahwa semakin kecil frekuensi maka nilai RAO akan mendekati 1 atau lebih kecil dari 1, yang berarti bahwa perilaku struktur akibat adanya gelombang hampir tidak ada dan bahkan mengecil. Kemudian grafik secara bertahap naik sampai mencapai puncak (resonansi) dan menurun lagi sampai

mendekati 0. RAO gerakan *heave* memiliki kenaikan tajam pada daerah resonansi terbesarnya yaitu pada gelombang sisi (arah 90°) sebesar 2.386 m/m, terjadi pada frekuensi 0.4 rad/s. Diikuti oleh gelombang perempat (arah 45° dan 135°) sebesar 2.311 m/m. Sedangkan gelombang buritan (arah 0°) dan gelombang haluan (arah 180°) memberikan efek yang paling kecil sebesar 2.201 m/m. Semuanya terjadi pada frekuensi 0.4 rad/s.

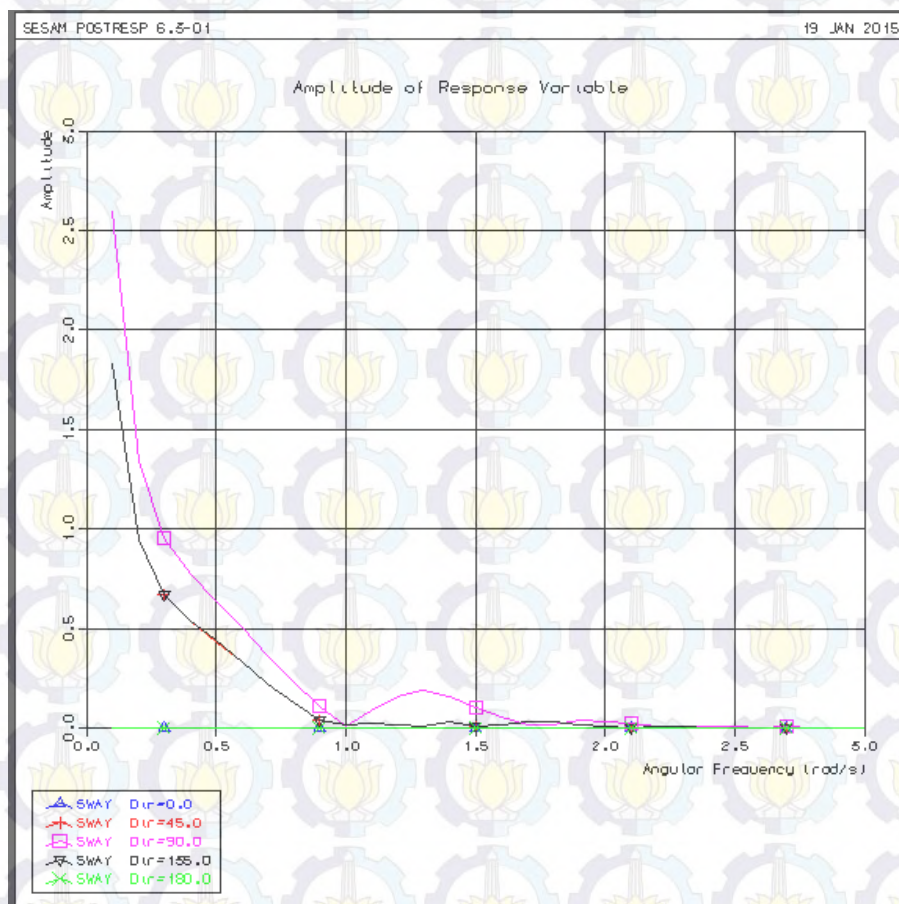
Selisih antara nilai RAO pada tiap arah pembebanan tergolong sangat kecil. Hal ini disebabkan karena bagian *hull* yang terkena gelombang berbentuk kolom-kolom yang tersusun secara simetris. Sehingga pengaruh dari arah gelombang manapun akan menunjukkan gejala kemiripan yang tampak jelas. Dari informasi RAO *heave* di atas, bisa disimpulkan bahwa gerakan *heave* terbesar ada pada arah pembebanan 90° . Informasi ini penting dalam penentuan *heading* dari *semisubmersible* agar respons yang terjadi pada struktur bisa diminimalkan.



Gambar 4.5 RAO gerakan *surge semisubmersible* kondisi *free floating*

Gerakan *surge* merupakan salah satu pola gerakan horizontal bangunan apung. Seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.5 bahwa karakteristik gerakan *surge* didominasi oleh gelombang haluan dan buritan (arah 0° dan arah 180°) dengan RAO tertinggi masing-masing sebesar 2.586 m/m dan 2.587 m/m yang terjadi pada frekuensi 0.1 rad/s. Hal ini menunjukkan bahwa gerakan *surge* terbesar (resonansi utama) terjadi pada frekuensi rendah sekitar 0.1-0.2 rad/s.

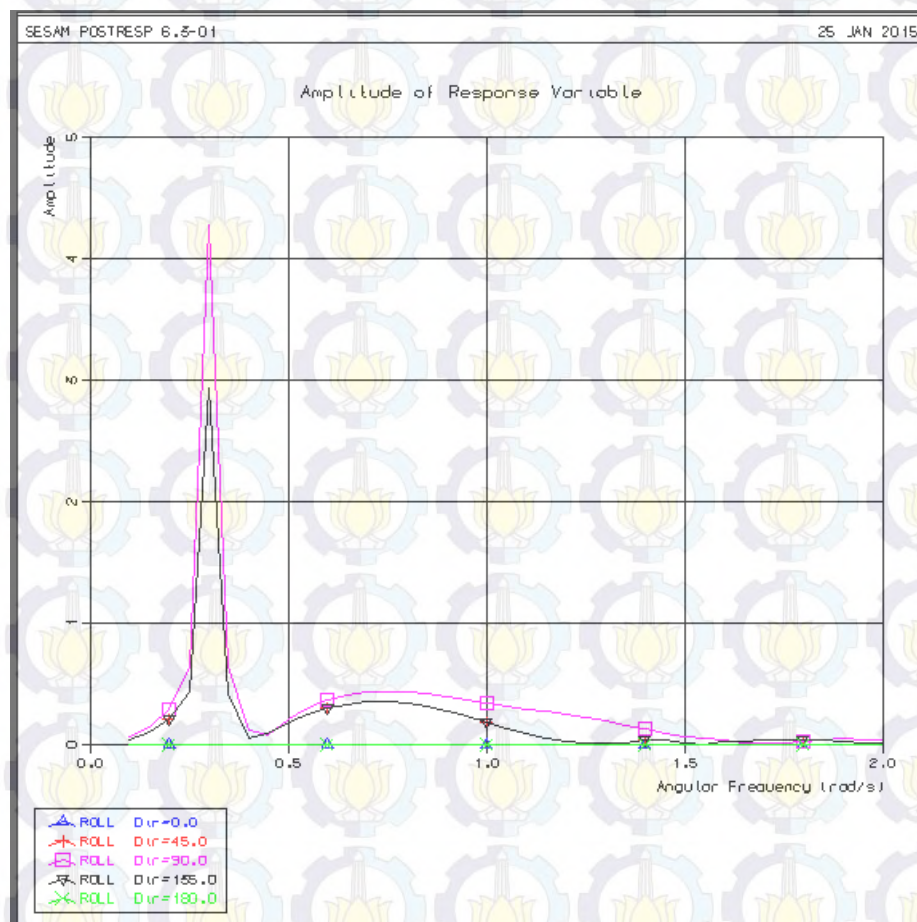
Gerakan *surge* pada arah pembebanan 0° dan 180° memiliki RAO yang hampir sama karena bentuk geometri dari *semisubmersible* yang berbentuk kolom dengan desain yang simetris. Kemudian diikuti oleh gelombang perempat (arah 45° dan 135°) dengan RAO tertinggi sama-sama sebesar 1.803 m/m yang keduanya terjadi pada frekuensi 0.1 rad/s. Sedangkan gelombang sisi (arah 90°) memberikan efek yang paling kecil dengan RAO tertinggi sebesar 0.0004 m/m pada frekuensi 0.1 rad/s, hal ini dikarenakan gelombang arah 90° tidak begitu berpengaruh untuk terjadinya gerakan *surge*.



Gambar 4.6 RAO gerakan sway *semisubmersible* kondisi *free floating*

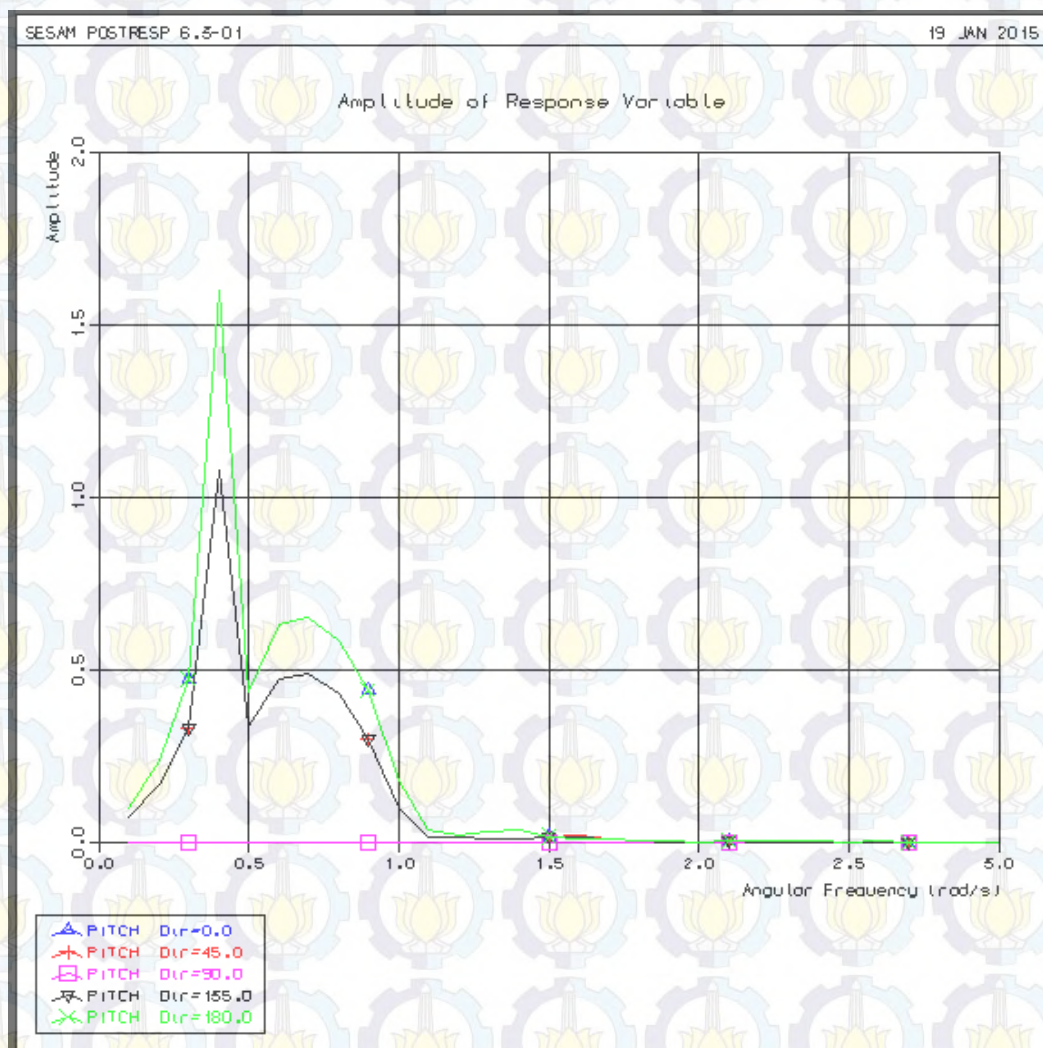
Gerakan *surge* dan *sway* memiliki karakteristik kurva yang bisa dikatakan hampir sama, hanya memiliki perbedaan pada arah datang gelombang yang berpengaruh signifikan terhadap struktur. Pada Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa karakteristik gerakan *sway* didominasi oleh gelombang sisi (arah 90°). Pada gelombang perempat (arah 45° dan 135°) intensitas gerakan sedikit menurun.

Gerakan *sway* secara teoritis tidak akan terjadi pada gelombang buritan ataupun haluan, seperti pada Gambar 4.6, arah 0° dan arah 180° memiliki kurva yang menempel di sumbu-x kurva dan memiliki nilai RAO 0.0002 m/m. RAO gerakan *sway* tertinggi terjadi pada gelombang sisi (arah 90°) yakni sebesar 2.591 m/m. Diikuti oleh gelombang perempat (arah 45° dan 135°) yang keduanya memiliki nilai RAO yang sama sebesar 1.832 m/m. Semua nilai tertinggi RAO dari masing-masing arah datang gelombang terjadi pada frekuensi 0.1 rad/s. Sedangkan gelombang buritan (arah 0°) dan gelombang haluan (arah 180°) tidak memberikan efek terhadap perilaku gerakan *sway*.



Gambar 4.7 RAO gerakan *roll semisubmersible* kondisi *free floating*

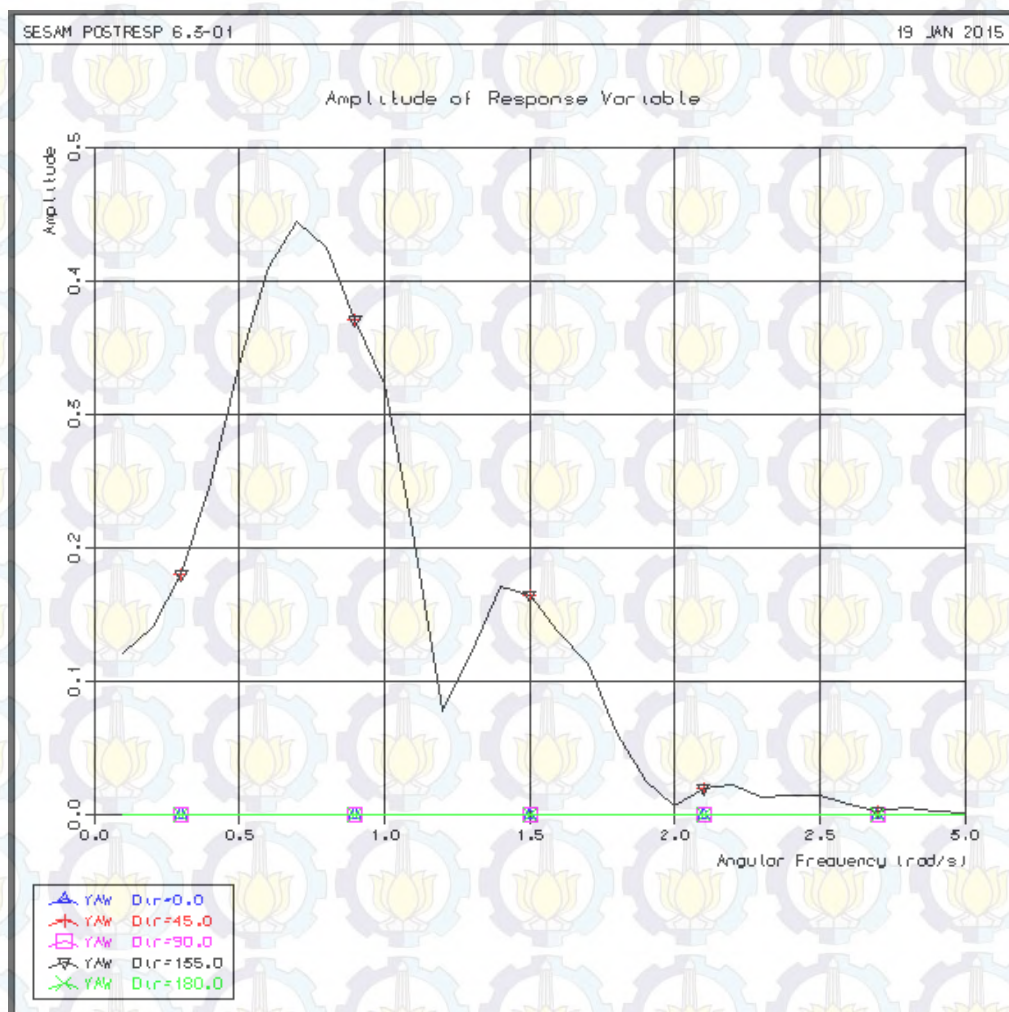
Gerakan *roll* merupakan salah satu pola gerakan rotasional bangunan apung. Pada Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa pada daerah subkritis (frekuensi rendah), perilaku gerak *roll* merepresentasikan nilai yang kecil, kemudian naik tajam pada daerah resonansi, dan menurun secara signifikan pada daerah super kritis (frekuensi tinggi). Karakteristik gerakan *roll* akan didominasi oleh gelombang sisi (arah 90°), kemudian gelombang perempat (arah 45° dan 135°). Sedangkan gelombang haluan dan buritan (arah 180° dan 0°) memberikan efek yang paling kecil, seperti pada Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa nilai RAOnya adalah 0. RAO gerakan *roll* memiliki kenaikan pada daerah resonansi terbesarnya yaitu pada gelombang sisi (arah 90°) sebesar 4.271 deg/m yang terjadi pada frekuensi 0.7 rad/s . Diikuti oleh RAO dari gelombang perempat (arah 45° dan 135°) yang memiliki nilai tertinggi yaitu 2.932 deg/m , nilai RAO tersebut juga terjadi pada frekuensi 0.7 rad/s .



Gambar 4.8 RAO gerakan *pitch* semisubmersible kondisi *free floating*

Pada Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa karakteristik gerakan *pitch* didominasi oleh gelombang arah 0° dan 180° . Kemudian gerakan akibat gelombang perempat (arah 45° dan 135°), dan gelombang sisi (arah 90°) memiliki nilai RAO paling kecil. RAO gerakan *pitch* memiliki kenaikan tajam pada arah datang gelombang haluan (0°) dengan nilai tertinggi sebesar 1.596 deg/m, sama dengan RAO dari arah datang gelombang buritan (180°) sebesar 1.596 deg/m, dimana keduanya terjadi pada frekuensi 0.4 rad/s.

Kemudian selanjutnya RAO tertinggi dari arah 45° sebesar 1.076 deg/m yang terjadi pada frekuensi 0.4 rad/s dan dari arah 135° dengan nilai RAO yang sama yaitu 1.076 deg/m terjadi pada frekuensi 0.4 rad/s. Dan arah gelombang sisi (arah 90°) memiliki nilai RAO paling kecil yakni sebesar 0.0002 deg/m yang juga terjadi pada frekuensi 0.4 rad/s.



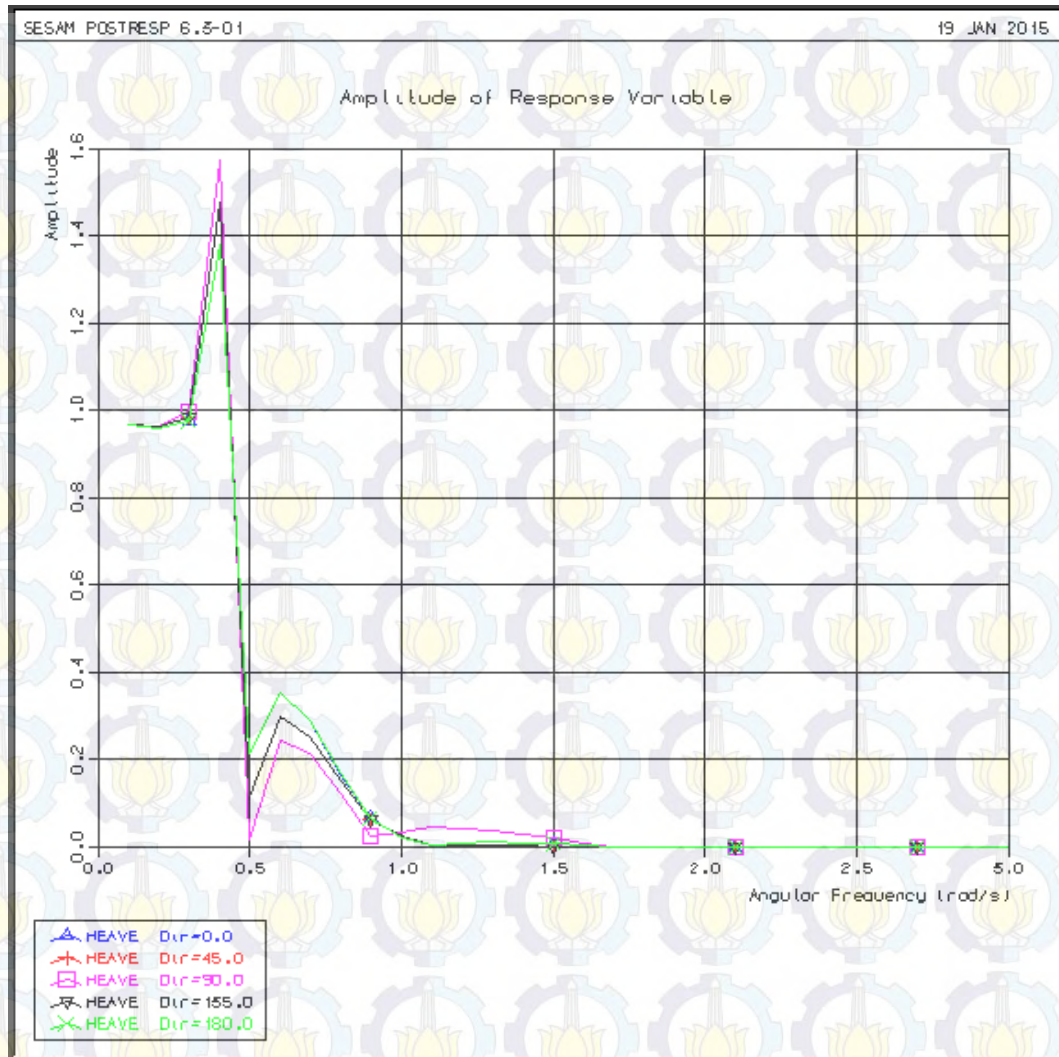
Gambar 4.9 RAO gerakan yaw semisubmersible kondisi free floating

Untuk RAO gerakan *yaw* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.9 memiliki kenaikan pada gelombang perempat haluan (arah 135°) dengan nilai RAO tertinggi sebesar 0.444 deg/m dan gelombang perempat buritan (arah 45°) sebesar 0.444 deg/m, dimana keduanya terjadi pada frekuensi 0.7 rad/s. Untuk RAO dari arah datang gelombang sisi (arah 90°) terhitung sangat kecil, yaitu sebesar 0.0002 deg/m yang terjadi pada frekuensi 1.1 rad/s. Sedangkan gelombang buritan (arah 0°) dan gelombang haluan (arah 180°) tidak memiliki pengaruh terhadap gerakan *yaw semisubmersible* karena memiliki nilai RAO 0 deg/m pada setiap frekuensi.

Dari keseluruhan pembahasan RAO *semisubmersible* kondisi operasi pada saat terapung bebas (*free floating*) yang ditunjukkan oleh Gambar 4.4 – Gambar 4.9, maka dapat disimpulkan bahwa *semisubmersible* mengalami gerakan yang signifikan yakni pada gerak *heave*, *surge* dan *sway*. Di mana kedua gerakan tersebut merupakan mode gerakan translasional bangunan apung.

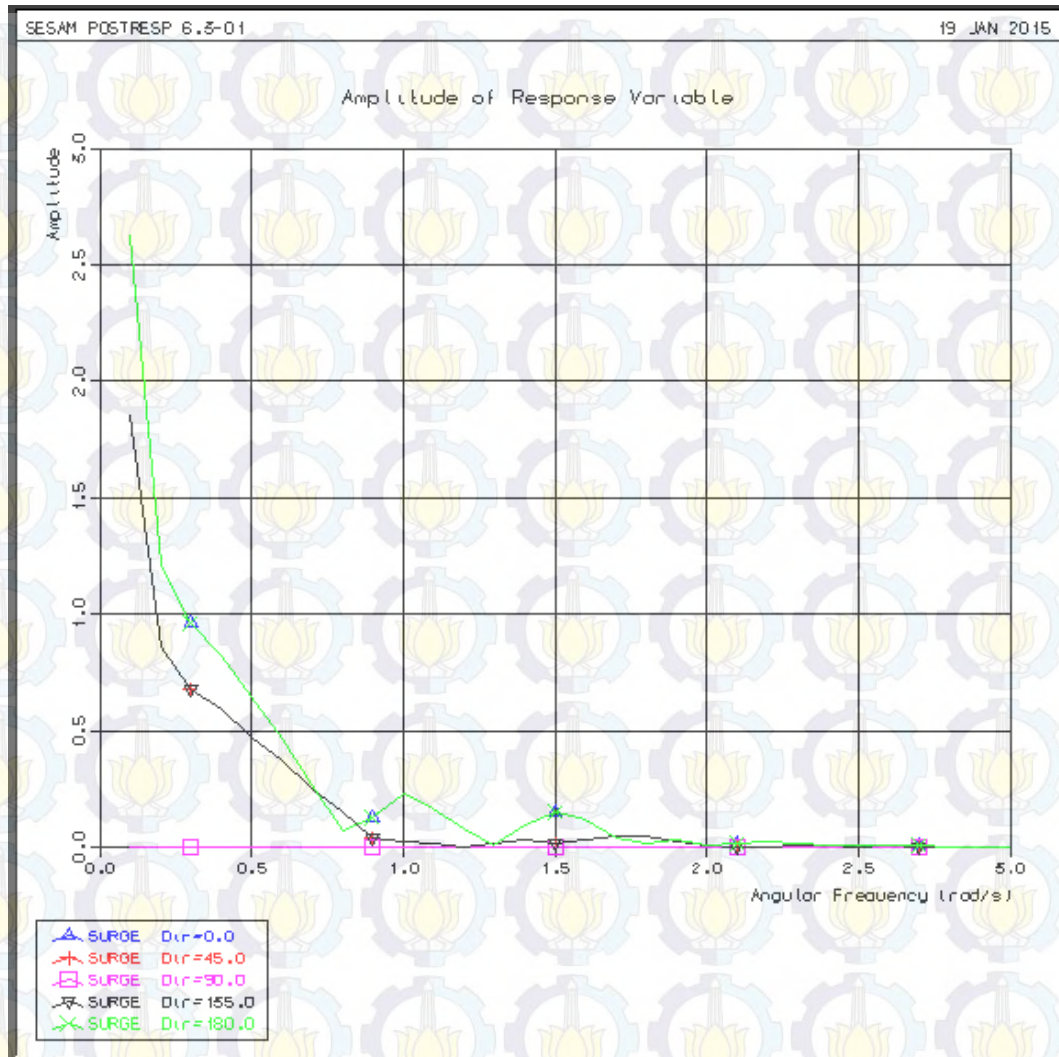
4.4.2 Analisis Respons *Semisubmersible* pada Gelombang Reguler kondisi Tertambat

Analisis respons *semisubmersible* yang *moored/tethered* pada gelombang reguler yang dilakukan dengan *software* Sesam HydoD akan menghasilkan RAO (*Response Amplitude Operator*). RAO tersebut dijabarkan dalam gerakan enam derajat kebebasan (*six degree of freedom*) *surge*, *sway*, *heave*, *roll*, *pitch* dan *yaw*. Data RAO ini menunjukkan karakteristik perilaku gerak *semisubmersible* saat terpancang (*tethered*) pada gelombang reguler. Grafik fungsi transfer/RAO akan disajikan dengan absis (sumbu-x) berupa *wave frequency* (rad/s) dan sumbu-y berupa besar RAO (m/m), untuk gerakan translasional dan deg/m, untuk gerakan rotasional).



Gambar 4.10 RAO gerakan *heave semisubmersible* kondisi *tethered*

Pada Gambar 4.10 terlihat bahwa semakin kecil frekuensi maka nilai RAO akan mendekati 1 atau lebih kecil dari 1, yang berarti bahwa perilaku struktur akibat adanya gelombang hampir tidak ada dan bahkan mengecil. Kemudian grafik secara bertahap naik sampai mencapai puncak (resonansi) dan menurun lagi sampai mendekati 0. RAO gerakan *heave* memiliki kenaikan tajam pada daerah resonansi terbesarnya yaitu pada gelombang sisi (arah 90°) sebesar 1.571 m/m, terjadi pada frekuensi 0.4 rad/s. Diikuti oleh gelombang perempat (arah 45° dan 135°) sebesar 1.476 m/m. Sedangkan gelombang buritan (arah 0°) dan gelombang haluan (arah 180°) memberikan efek yang paling kecil sebesar 1.38 m/m. Semuanya terjadi pada frekuensi 0.4 rad/s.

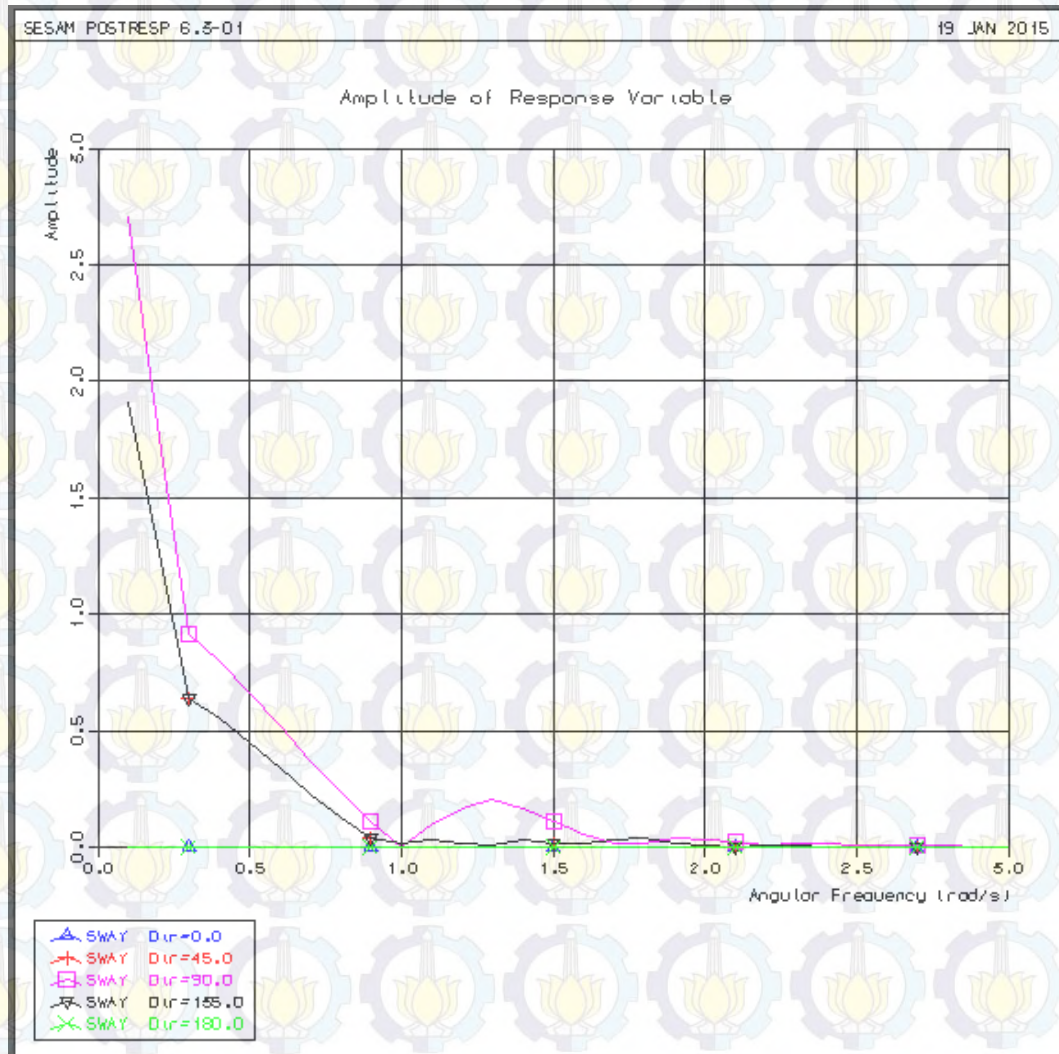


Gambar 4.11 RAO gerakan *surge semisubmersible* kondisi *tethered*

Gerakan *surge* merupakan salah satu pola gerakan horizontal bangunan apung. Seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.11 bahwa karakteristik gerakan *surge* didominasi oleh gelombang haluan dan buritan (arah 0° dan arah 180°) dengan RAO tertinggi masing-masing sebesar 2.623 m/m yang terjadi pada frekuensi 0.1 rad/s. Hal ini menunjukkan bahwa gerakan *surge* terbesar (resonansi utama) terjadi pada frekuensi rendah sekitar 0.1-0.2 rad/s. Gerakan *surge* pada arah pembebanan 0° dan 180° memiliki RAO yang hampir sama karena bentuk geometri dari *semisubmersible* yang berbentuk kolom dengan desain yang simetris.

Kemudian diikuti oleh gelombang perempat (arah 45° dan 135°) dengan RAO tertinggi sama-sama sebesar 1.855 m/m yang keduanya terjadi pada frekuensi 0.1 rad/s. Sedangkan gelombang sisi (arah 90°) memberikan efek yang paling kecil

dengan RAO tertinggi sebesar 0.0001 m/m pada frekuensi 0.1 rad/s, hal ini dikarenakan gelombang arah 90° tidak begitu berpengaruh untuk terjadinya gerakan *surge*.

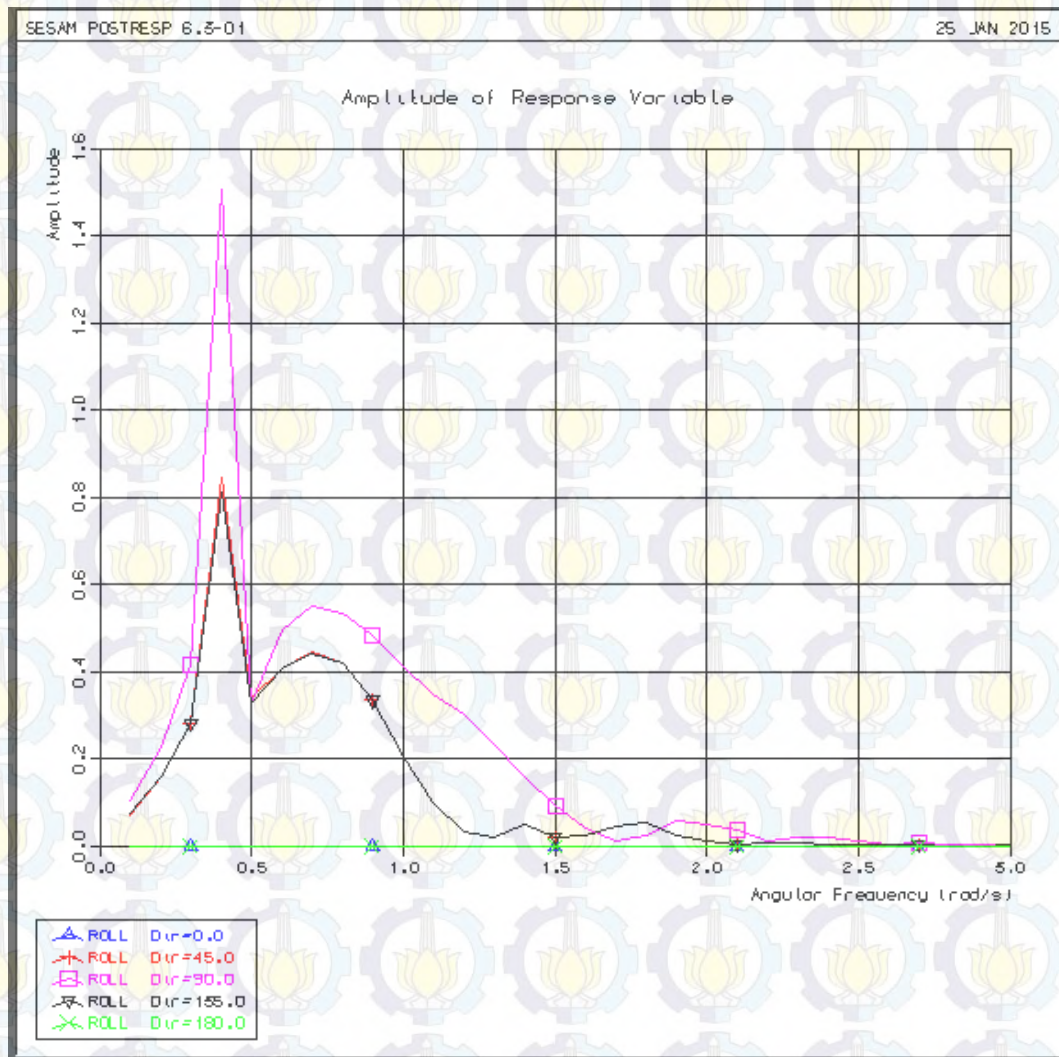


Gambar 4.12 RAO gerakan *sway semisubmersible* kondisi *tethered*

Gerakan *surge* dan *sway* memiliki karakteristik kurva yang bisa dikatakan hampir sama, hanya memiliki perbedaan pada arah datang gelombang yang berpengaruh signifikan terhadap struktur. Pada Gambar 4.12 dapat dilihat bahwa karakteristik gerakan *sway* didominasi oleh gelombang sisi (arah 90°). Pada gelombang perempat (arah 45° dan 135°) intensitas gerakan sedikit menurun.

Gerakan *sway* secara teoritis tidak akan terjadi pada gelombang buritan ataupun haluan, seperti pada Gambar 4.6, arah 0° dan arah 180° memiliki kurva yang menempel di sumbu-x kurva dan memiliki nilai RAO 0.00005 m/m. RAO

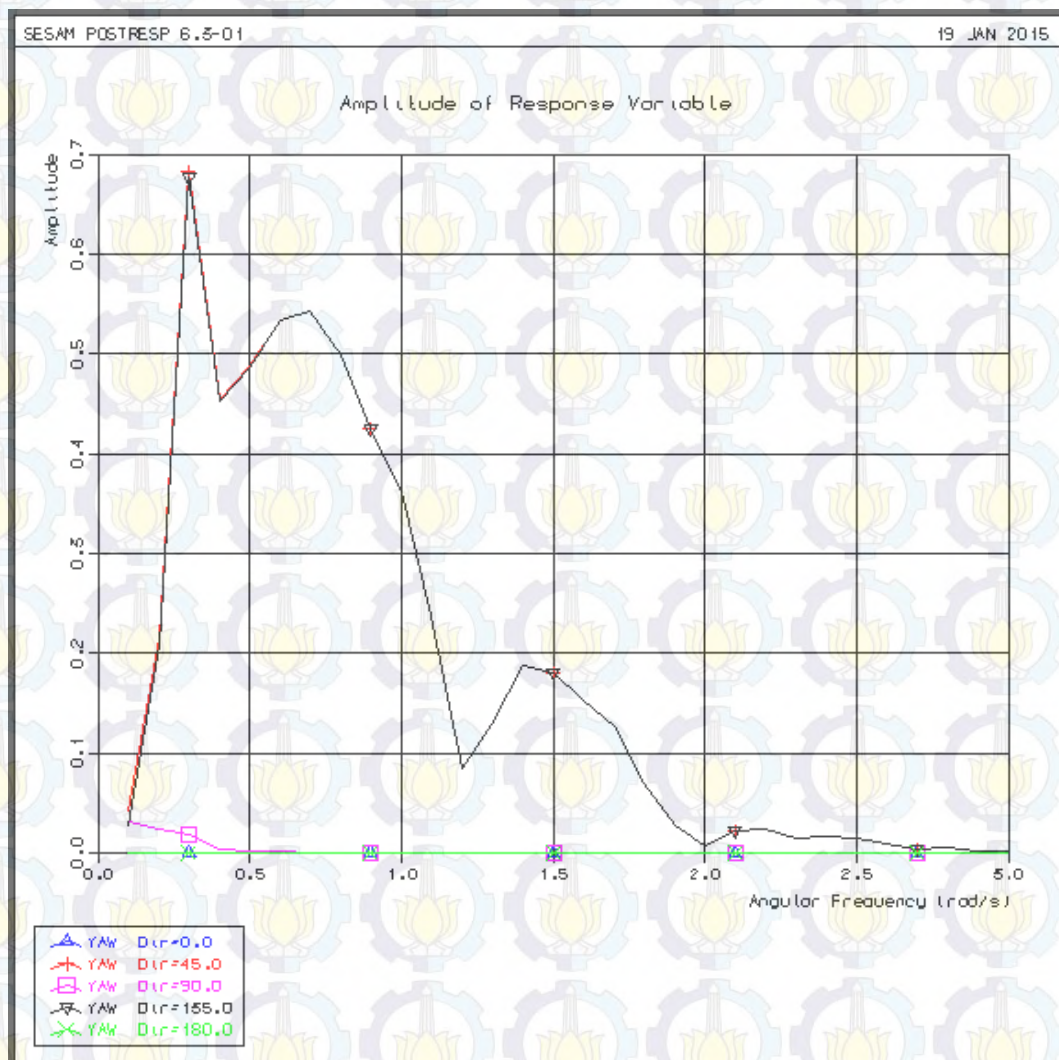
gerakan *sway* tertinggi terjadi pada gelombang sisi (arah 90°) yakni sebesar 2.701 m/m. Diikuti oleh gelombang perempat (arah 45° dan 135°) yang keduanya memiliki nilai RAO yang sama sebesar 1.91 m/m. Semua nilai tertinggi RAO dari masing-masing arah datang gelombang terjadi pada frekuensi 0.1 rad/s. Sedangkan gelombang buritan (arah 0°) dan gelombang haluan (arah 180°) tidak memberikan efek terhadap perilaku gerakan *sway*.



Gambar 4.13 RAO gerakan *roll semisubmersible* kondisi *tethered*

Pada Gambar 4.13 dapat dilihat bahwa pada daerah subkritis (frekuensi rendah), perilaku gerak *roll* merepresentasikan nilai yang kecil, kemudian naik tajam pada daerah resonansi, dan menurun secara signifikan pada daerah super kritis (frekuensi tinggi). Karakteristik gerakan *roll* akan didominasi oleh gelombang sisi (arah 90°), kemudian gelombang perempat (arah 45° dan 135°). Sedangkan

gelombang haluan dan buritan (arah 180° dan 0°) memberikan efek yang paling kecil, seperti pada Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa nilai RAOnya adalah 0. RAO gerakan *roll* memiliki kenaikan pada daerah resonansi terbesarnya yaitu pada gelombang sisi (arah 90°) sebesar 1.504 deg/m yang terjadi pada frekuensi 0.7 rad/s . Diikuti oleh RAO dari gelombang perempat (arah 45° dan 135°) yang memiliki nilai tertinggi yaitu 0.845 deg/m dan 0.810 deg/m , nilai RAO tersebut juga terjadi pada frekuensi 0.7 rad/s .

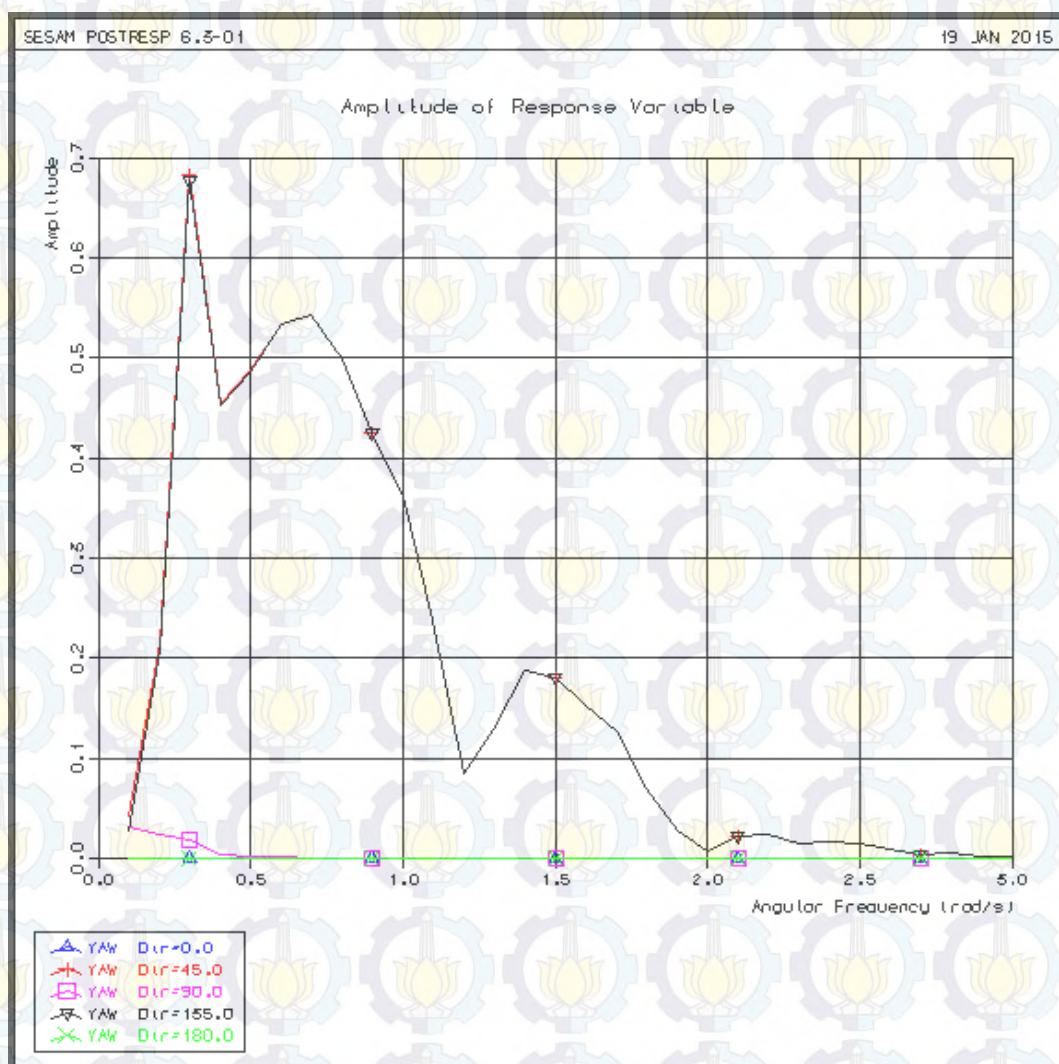


Gambar 4.14 RAO gerakan *pitch semisubmersible* kondisi *tethered*

Pada Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa karakteristik gerakan *pitch* didominasi oleh gelombang arah 0° dan 180° . Kemudian gerakan akibat gelombang perempat (arah 45° dan 135°), dan gelombang sisi (arah 90°) memiliki nilai RAO paling kecil. RAO gerakan *pitch* memiliki kenaikan tajam pada arah datang gelombang haluan

(0°) dengan nilai tertinggi sebesar 0.748 deg/m, sama dengan RAO dari arah datang gelombang buritan (180°) sebesar 0.7487 deg/m, dimana keduanya terjadi pada frekuensi 0.4 rad/s.

Kemudian selanjutnya RAO tertinggi dari arah 45° sebesar 0.592 deg/m yang terjadi pada frekuensi 0.5 rad/s dan dari arah 135° dengan nilai RAO yang sama yaitu 0.592 deg/m terjadi pada frekuensi 0.5 rad/s. Dan arah gelombang sisi (arah 90°) memiliki nilai RAO paling kecil yakni sebesar 0.0001 deg/m yang juga terjadi pada frekuensi 0.4 rad/s.



Gambar 4.15 RAO gerakan yaw *semisubmersible* kondisi *tethered*

Untuk RAO gerakan yaw seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.15 memiliki kenaikan pada gelombang perempat haluan (arah 135°) dengan nilai RAO tertinggi sebesar 0.674 deg/m dan gelombang perempat buritan (arah 45°) sebesar

0.674 deg/m, dimana keduanya terjadi pada frekuensi 0.3 rad/s. Untuk RAO dari arah datang gelombang sisi (arah 90°) memiliki pengaruh, namun dalam skala yang kecil, yaitu sebesar 0.03 deg/m yang terjadi pada frekuensi 0.1 rad/s. Sedangkan gelombang buritan (arah 0°) dan gelombang haluan (arah 180°) tidak memiliki pengaruh terhadap gerakan *yaw semisubmersible* karena memiliki nilai RAO 0 deg/m pada setiap frekuensi.

Dari keseluruhan pembahasan RAO *semisubmersible* pada kondisi tertambat yang ditunjukkan oleh Gambar 4.10 – Gambar 4.15 maka dapat disimpulkan bahwa gerakan *semisubmersible* mengalami peredaman, utamanya pada gerakan *heave* dan *roll*. Hal ini artinya, keberadaan tali tambat pada *semisubmersible* dapat mengurangi gerakan yang diakibatkan oleh gelombang dari kelima arah pembebanan.

Tabel 4.3 Resume nilai RAO tertinggi untuk kondisi operasi *semisubmersible* saat terapung bebas (*free floating*)

	Heave (m/m)	Surge (m/m)	Sway (m/m)	Roll (deg/m)	Pitch (deg/m)	Yaw (deg/m)
Arah 0°	2.197	2.586	0.000	0.000	1.596	0.000
Arah 45°	2.309	1.830	1.832	2.932	1.076	0.445
Arah 90°	2.386	0.000	2.591	4.271	0.002	0.000
Arah 135°	2.311	1.830	1.832	2.932	1.076	0.445
Arah 180°	2.201	2.587	0.000	0.000	1.596	0.000

Tabel 4.4 Resume nilai RAO tertinggi untuk operasi *semisubmersible* saat tertambat (*tethered*)

	Heave (m/m)	Surge (m/m)	Sway (m/m)	Roll (deg/m)	Pitch (deg/m)	Yaw (deg/m)
Arah 0°	1.380	2.623	0.000	0.000	0.753	0.000
Arah 45°	1.476	1.855	1.910	0.845	0.592	0.682
Arah 90°	1.571	0.000	2.701	1.504	0.011	0.030
Arah 135°	1.476	1.855	1.910	0.810	0.592	0.676
Arah 180°	1.380	2.623	0.000	0.000	0.753	0.000

4.5. ANALISIS RESPONS SEMISUBMERSIBLE PADA GELOMBANG ACAK

4.5.1. Analisis Spektra Gelombang

Pemilihan spektra gelombang untuk analisis respons gerak struktur pada gelombang acak dilakukan sesuai dengan kondisi perairan lokasi beroperasinya bangunan terapung. Dari banyak spektrum gelombang yang telah diteliti, yang akan digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah Spektra JONSWAP. Pemilihan spektra JONSWAP ini didasarkan pada penentuan yang ada pada Chakrabarti (1987) yang telah dibahas pada BAB II. Selain itu, pada DNV RP C205 juga dijelaskan bahwa spektrum JONSWAP diaplikasikan pada perairan dengan :

$$3.6 < T_p / \sqrt{H_s} < 5$$

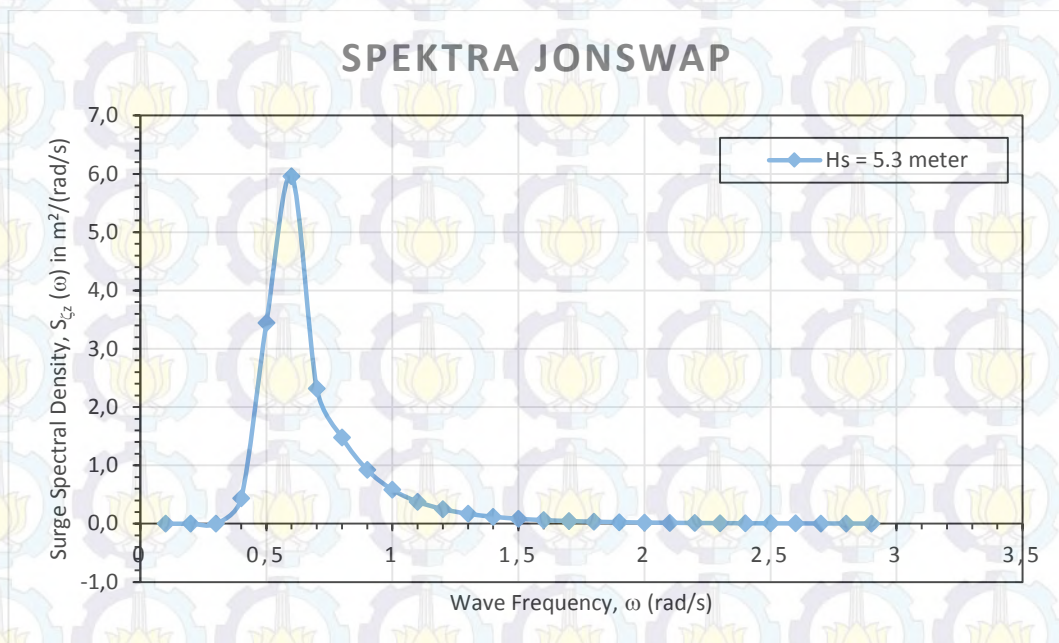
Dan untuk perairan Natuna, nilai $T_p / \sqrt{H_s} = 11.1 / \sqrt{5.3} = 4.821$ (OK)

Dari perhitungan di atas, maka untuk perhitungan spektra gelombang di perairan Natuna sudah sesuai jika menggunakan spektrum JONSWAP, dengan mengambil nilai $\gamma = 1.2278$ (DNV OS E301). Berikut adalah perhitungan dan grafik spektrum gelombang untuk perairan Natuna dimana *semisubmersible* akan beroperasi.

Tabel 4.5 Perhitungan spektrum gelombang

Hs	5.3	m				
ω (rad/s)	S(ω)	SM	$\frac{S(\omega) \cdot S}{M}$	$\frac{\omega \cdot S(w) \cdot S}{M}$	$\frac{\omega^2 \cdot S(w) \cdot S}{M}$	$\frac{\omega^4 \cdot S(w) \cdot S}{M}$
(rad/s)	(m ² /rad/s)		(m ² /(rad/s))	(m ²)	(m ² (rad/s))	(m ² (rad ³ /s ³))
0.1	0.00000	1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.2	0.00000	4	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.3	0.00004	2	0.00007	0.00002	0.00001	0.00000
0.4	0.43500	4	1.73999	0.69600	0.27840	0.04454
0.5	3.44250	2	6.88499	3.44250	1.72125	0.43031
0.6	5.96180	4	23.8471	14.30831	8.58499	3.09060
0.7	2.32036	2	4.64072	3.24850	2.27395	1.11424
0.8	1.47974	4	5.91897	4.73518	3.78814	2.42441
0.9	0.92351	2	1.84702	1.66232	1.49609	1.21183
1	0.58319	4	2.33275	2.33275	2.33275	2.33275

1.1	0.37712	2	0.75424	0.82966	0.91262	1.10428
1.2	0.25044	4	1.00175	1.20210	1.44252	2.07723
1.3	0.17070	2	0.34140	0.44383	0.57697	0.97508
1.4	0.11921	4	0.47684	0.66757	0.93460	1.83182
1.5	0.08511	2	0.17022	0.25533	0.38300	0.86175
1.6	0.06199	4	0.24797	0.39676	0.63481	1.62511
1.7	0.04598	2	0.09195	0.15632	0.26574	0.76798
1.8	0.03466	4	0.13862	0.24952	0.44913	1.45519
1.9	0.02651	2	0.05302	0.10073	0.19140	0.69094
2	0.02055	4	0.08220	0.16440	0.32879	1.31518
2.1	0.01612	2	0.03225	0.06772	0.14221	0.62716
2.2	0.01279	4	0.05117	0.11257	0.24766	1.19865
2.3	0.01025	2	0.02050	0.04716	0.10846	0.57378
2.4	0.00829	4	0.03317	0.07961	0.19106	1.10053
2.5	0.00677	2	0.01353	0.03383	0.08457	0.52856
2.6	0.00556	4	0.02225	0.05786	0.15044	1.01695
2.7	0.00461	2	0.00922	0.02489	0.06719	0.48984
2.8	0.00384	4	0.01537	0.04305	0.12053	0.94499
2.9	0.00323	1	0.00323	0.00936	0.02713	0.22816
		$\Sigma =$	50.77062	35.36784	27.73444	30.06189
			$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$



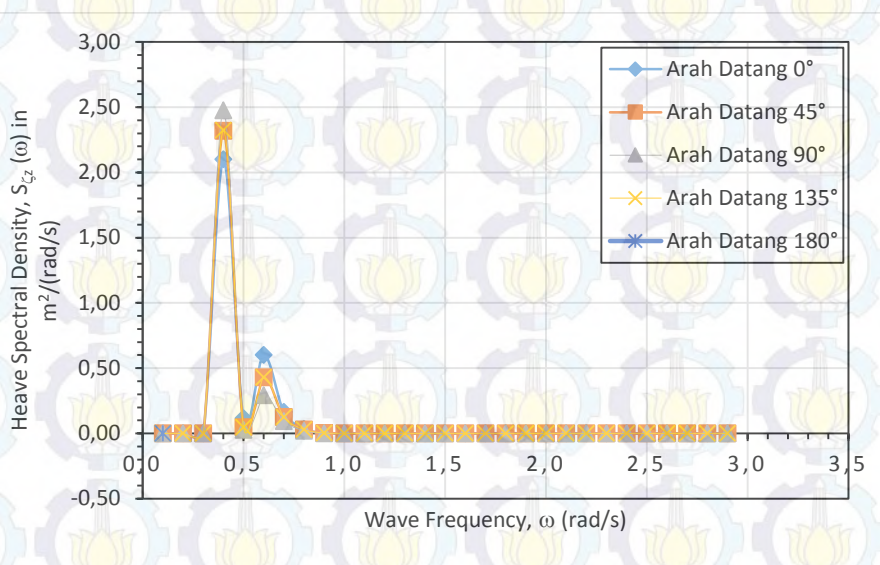
Gambar 4.16 Spektrum gelombang JONSWAP ($H_s = 5.3$ m, $T_p = 11.1$ s)

Pada analisis ini akan ditentukan respons struktur dari *semisubmersible* sebagai respons kerapatan energi pada struktur akibat gelombang. Spektra respons

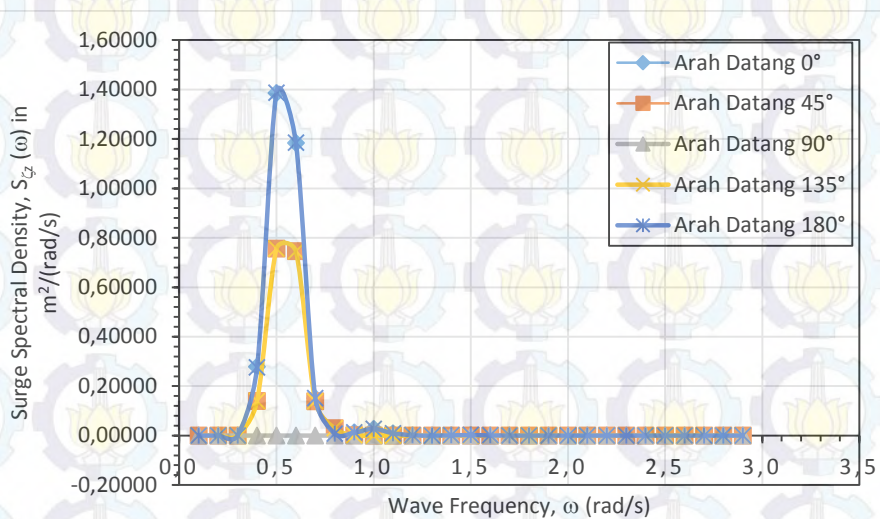
didapatkan dengan cara mengalikan harga spektra gelombang dengan RAO kuadrat. Maka grafik respons struktur pada enam derajat kebebasan yang dihasilkan adalah sebagai berikut :

Hasil analisis spektra respons akan dibagi menjadi dua kondisi, yaitu kondisi terapung bebas (*free floating*) dan kondisi tertambat (*tethered*) Berikut adalah penjabaran untuk tiap-tiap kondisi bangunan apung.

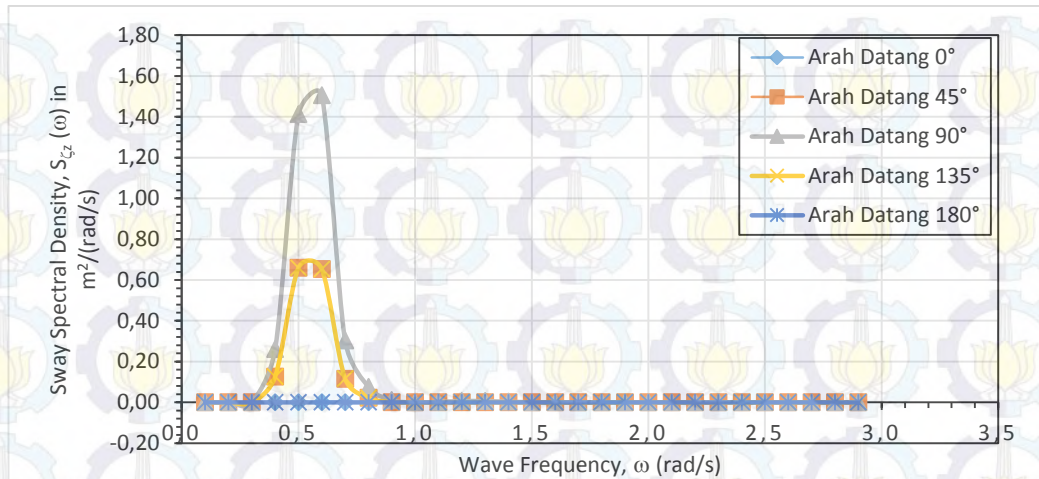
4.5.2 Analisis Perilaku Gerak *Semisubmersible* Pada Gelombang Acak Kondisi Terapung Bebas (*free floating*)



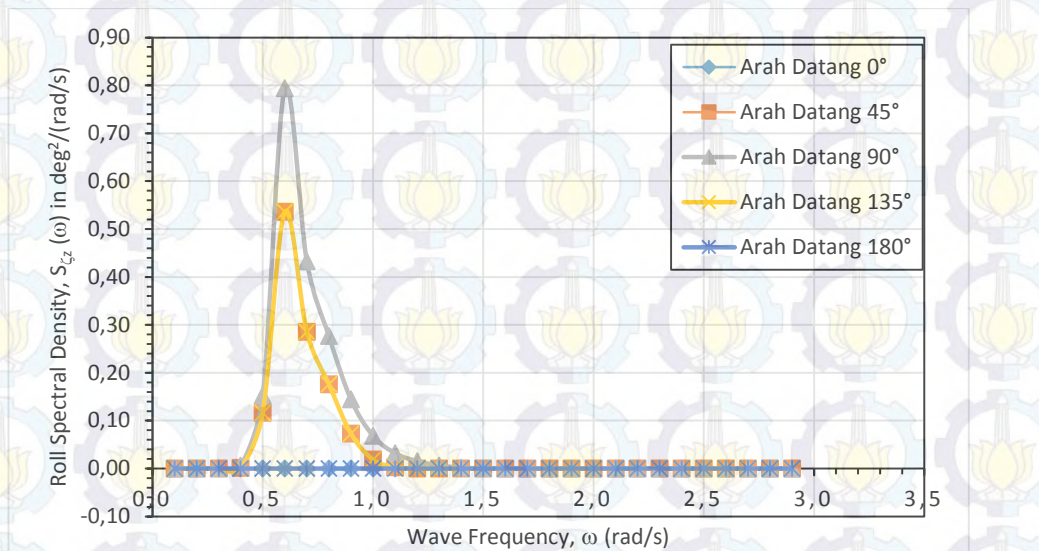
Gambar 4.17 Respons spektra gerakan *heave semisubmersible* kondisi *free floating*



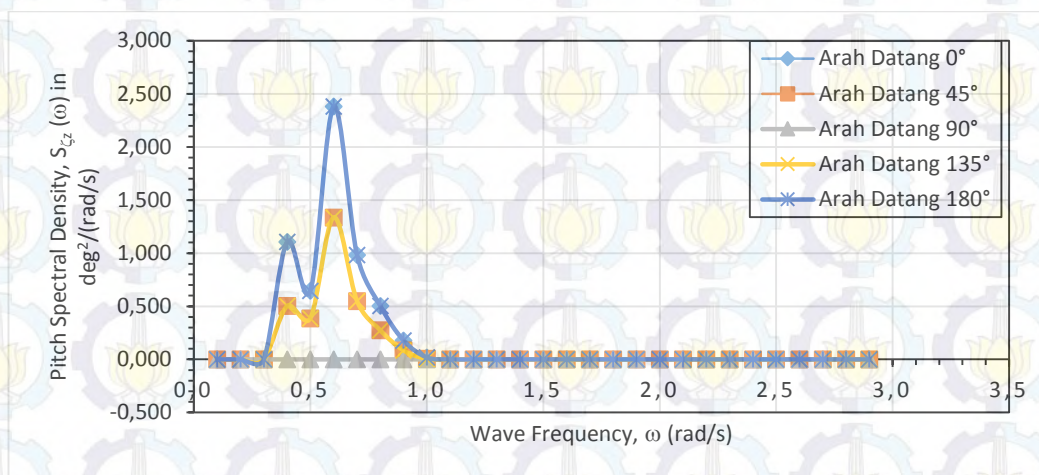
Gambar 4.18 Respons spektra gerakan *surge semisubmersible* kondisi *free floating*



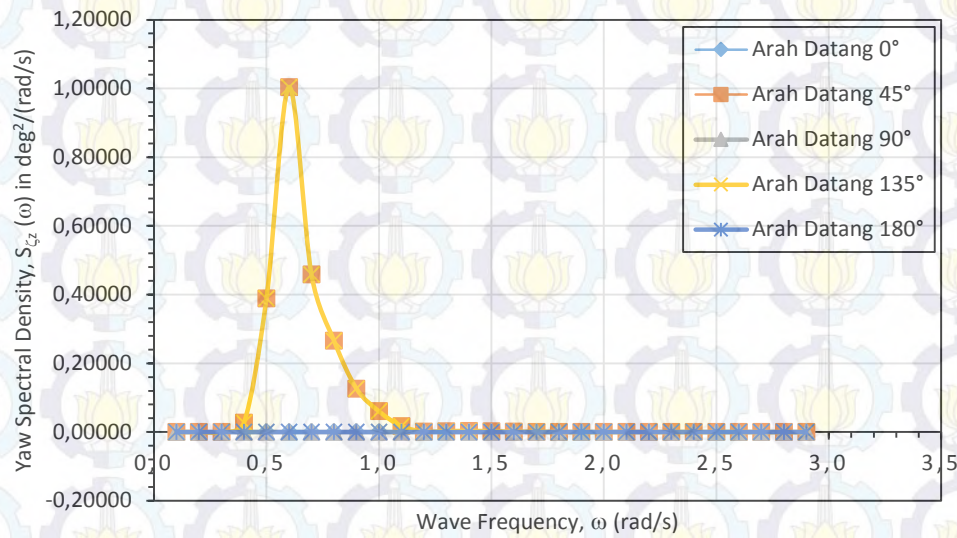
Gambar 4.19 Respons spektra gerakan *sway semisubmersible* kondisi *free floating*



Gambar 4.20 Respons spektra gerakan *roll semisubmersible* kondisi *free floating*



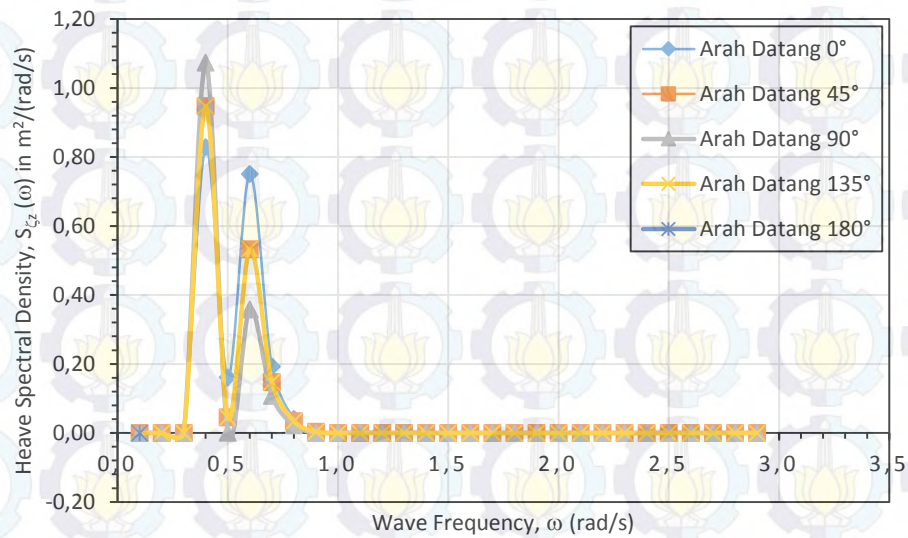
Gambar 4.21 Respons spektra gerakan *pitch semisubmersible* kondisi *free floating*



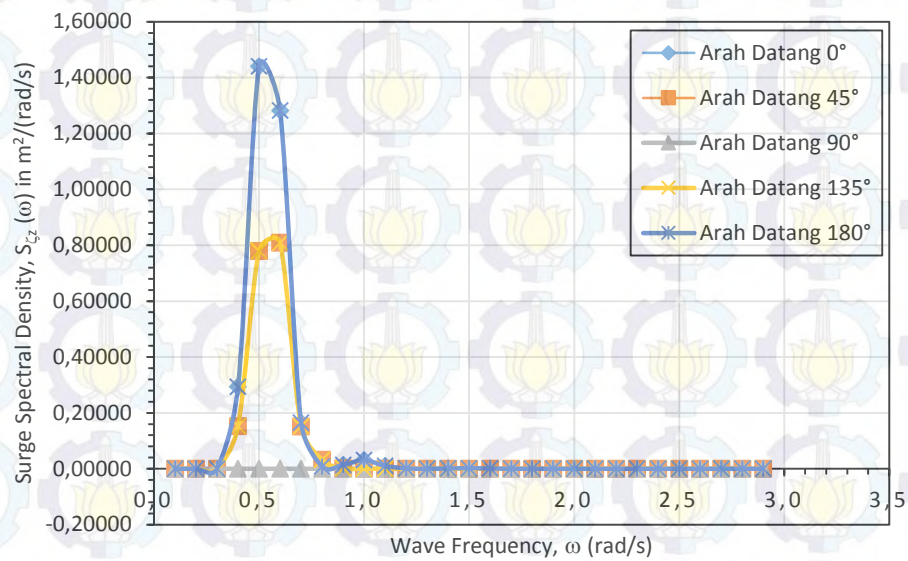
Gambar 4.22 Respons spektra gerakan yaw *semisubmersible* kondisi *free floating*

Dari Gambar 4.17 – Gambar 4.22 yang telah ditampilkan maka dapat disimpulkan bahwa respons struktur *semisubmersible* kondisi *free floating* pada kondisi ekstrem (gelombang 100 tahun) di perairan Natuna untuk gerakan *heave* terjadi paling besar adalah akibat gelombang arah 90°, yaitu dengan nilai $SR(\omega)_{heave} = 2.386 \text{ [m}^2/(\text{rad/s})]$. Respons struktur untuk gerakan *surge* terjadi paling besar adalah akibat gelombang arah 0° dan 180°, yaitu dengan nilai $SR(\omega)_{surge} = 1.387 \text{ [m}^2/(\text{rad/s})]$. Respons struktur untuk gerakan *sway* terjadi paling besar adalah akibat gelombang arah 90°, yaitu dengan nilai sebesar $SR(\omega)_{sway} = 1.505 \text{ [m}^2/(\text{rad/s})]$. Respons struktur untuk gerakan *roll* terjadi paling besar adalah akibat gelombang arah 90°, yaitu dengan nilai $SR(\omega)_{roll} = 0.793 \text{ [deg}^2/(\text{rad/s})]$. Respons struktur untuk gerakan *pitch* terjadi paling besar adalah akibat gelombang arah 0° dan 180°, yaitu dengan nilai $SR(\omega)_{pitch} = 2.383 \text{ [deg}^2/(\text{rad/s})]$. Respons struktur untuk gerakan yaw terjadi paling besar adalah akibat gelombang arah 45° dan 135° dengan nilai $SR(\omega)_{yaw} = 1.004 \text{ [deg}^2/(\text{rad/s})]$.

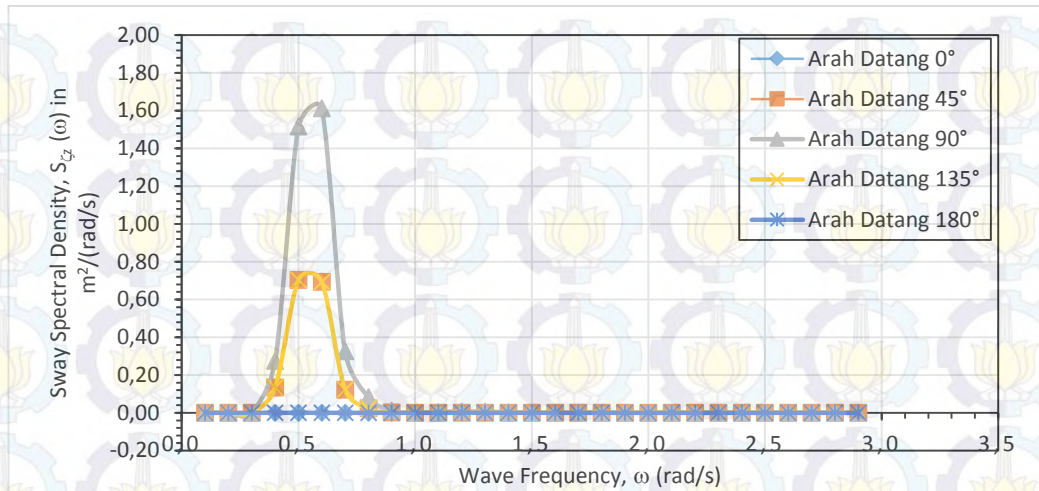
4.5.3 Analisis Perilaku Gerak *Semisubmersible* Pada Gelombang Acak Kondisi Tertambat (*tethered*)



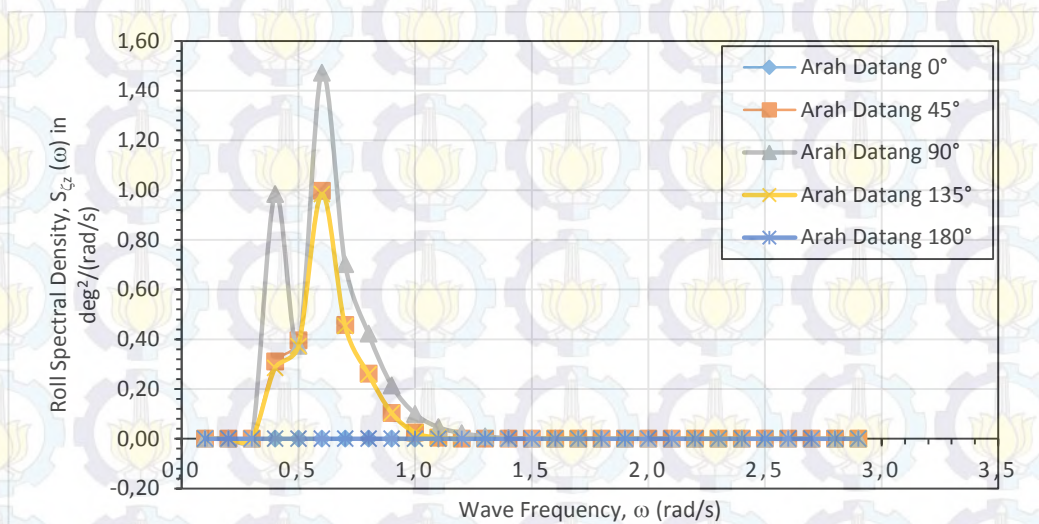
Gambar 4.23 Respons spektra gerakan *heave semisubmersible* kondisi *tethered*



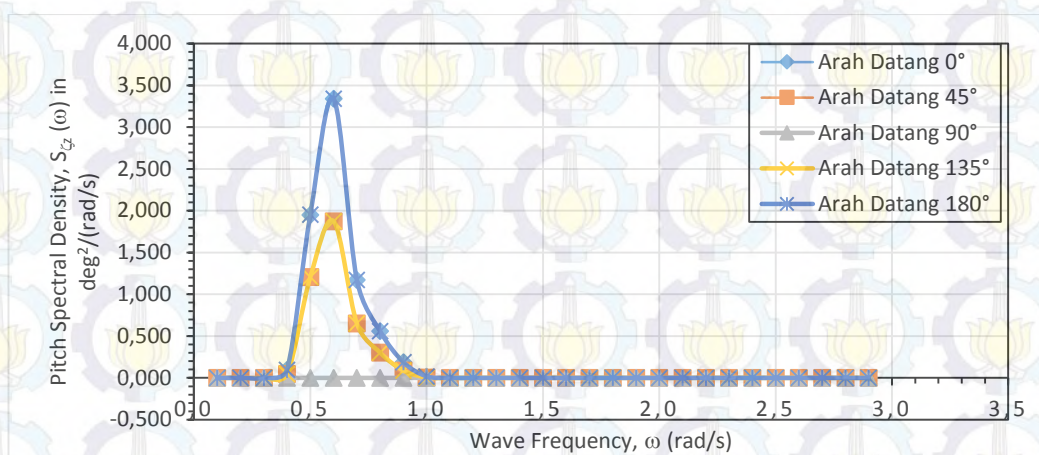
Gambar 4.24 Respons spektra gerakan *surge semisubmersible* kondisi *tethered*



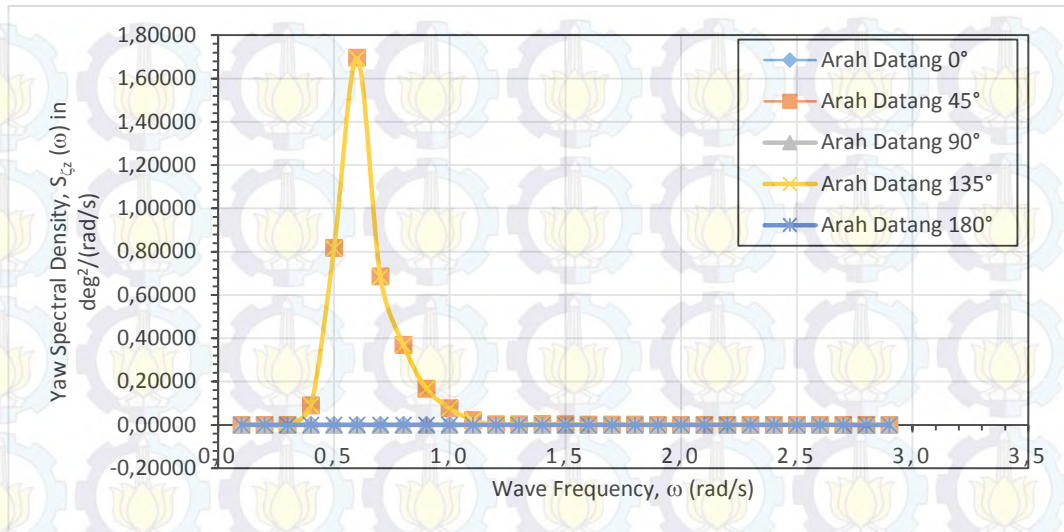
Gambar 4.25 Respons spektra gerakan *sway semisubmersible* kondisi *tethered*



Gambar 4.26 Respons spektra gerakan *roll semisubmersible* kondisi *tethered*



Gambar 4.27 Respons spektra gerakan *pitch semisubmersible* kondisi *tethered*



Gambar 4.28 Respons spektra gerakan yaw *semisubmersible* kondisi *tethered*

Dari Gambar 4.23 – Gambar 4.28 yang telah ditampilkan maka dapat disimpulkan bahwa respons struktur *semisubmersible* kondisi *tethered* pada kondisi ekstrem (gelombang 100 tahun) di perairan Natuna untuk gerakan *heave* terjadi paling besar adalah akibat gelombang arah 90°, yaitu dengan nilai $SR(\omega)_{heave} = 1.073 \text{ [m}^2/(\text{rad/s})]$. Respons struktur untuk gerakan *surge* terjadi paling besar adalah akibat gelombang arah 0° dan 180°, yaitu dengan nilai $SR(\omega)_{surge} = 1.440 \text{ [m}^2/(\text{rad/s})]$. Respons struktur untuk gerakan *sway* terjadi paling besar adalah akibat gelombang arah 90°, yaitu dengan nilai sebesar $SR(\omega)_{sway} = 1.612 \text{ [m}^2/(\text{rad/s})]$. Respons struktur untuk gerakan *roll* terjadi paling besar adalah akibat gelombang arah 90°, yaitu dengan nilai $SR(\omega)_{roll} = 1.472 \text{ [deg}^2/(\text{rad/s})]$. Respons struktur untuk gerakan *pitch* terjadi paling besar adalah akibat gelombang arah 0° dan 180°, yaitu dengan nilai $SR(\omega)_{pitch} = 3.341 \text{ [deg}^2/(\text{rad/s})]$. Respons struktur untuk gerakan *yaw* terjadi paling besar adalah akibat gelombang arah 45° dan 135° dengan nilai $SR(\omega)_{yaw} = 1.692 \text{ [deg}^2/(\text{rad/s})]$.

4.6. DISTRIBUSI TENSION PADA TALI TAMBAT

Tali tambat yang menerima *tension* maksimum memiliki *safety factor* minimal. Besar *tension* yang didapatkan pada analisis ini akan dicocokkan atau dikoreksi dengan suatu kriteria *safety factor* berdasarkan API RP 2SK 2nd edition. Perlu diketahui bersama bahwa semakin besar nilai *tension* yang terjadi dibandingkan dengan nilai batas kapasitas tegangan (*breaking strength*) tali tambat

yang diterima, maka akan semakin rentan tali tersebut untuk putus. Oleh sebab itu sebelum menganalisis *tension* pada tali tambat terlebih dahulu dilakukan perhitungan secara mendetail tentang desain panjang tali tambat.

Dengan berbasis *time-domain*, analisis dilakukan selama 3 jam. Dan kondisi pembebanan dilakukan pada kondisi *Ultimate Limit State* (ULS) dan *Accidental Limit State* (ALS). Kondisi ULS adalah pembebanan yang terjadi pada kondisi operasi, dimana tali tambat yang bekerja sebagai *mooring system* pada *semisubmersible* bekerja optimum, utuh tanpa ada tali tambat dari yang diputus. Sedangkan ALS adalah pembebanan dengan kondisi yang sama dengan ULS, akan tetapi terdapat tali tambat dari *mooring system* yang diputus secara bebas. Berikut adalah hasil analisis *tension* tali tambat pada *semisubmersible* untuk kedua kondisi tersebut.

4.6.1 Analisis *Tension* Tali Tambat untuk *Semisubmersible* pada Kondisi ULS

Resume hasil analisis *tension* untuk kondisi ULS (*all lines intact*) dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.29 hingga Gambar 4.37 serta beberapa penjelasannya. Sebelumnya perlu dihitung terlebih dahulu berapa nilai *tension* maksimum yang diizinkan oleh API RP 2SK ^{2nd} edition. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

- Untuk *Wire Rope Spiral Strands*

$$\text{Safety Factor} = \frac{\text{Minimum Breaking Load}}{\text{Maximum Tension}}$$

$$1.67 = \frac{6550 \text{ kN}}{\text{Maximum Tension}}$$

$$\text{Maximum Tension} = 3922 \text{ kN}$$

- Untuk *Chain (Fairlead Chain & Seabed Chain)*

$$\text{Safety Factor} = \frac{\text{Minimum Breaking Load}}{\text{Maximum Tension}}$$

$$1.67 = \frac{6964 \text{ kN}}{\text{Maximum Tension}}$$

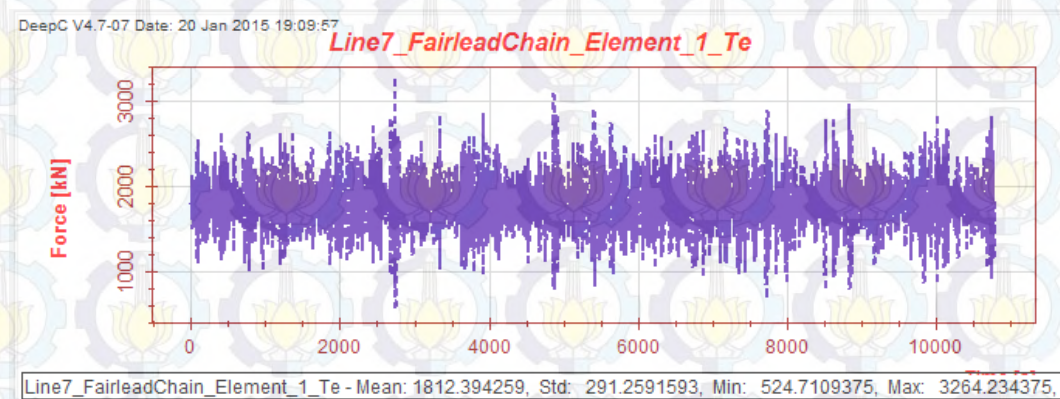
$$\text{Maximum Tension} = 4170 \text{ kN}$$

Dari perhitungan kriteria tersebut maka dapat disimpulkan bahwa nilai *tension* maksimum tali tambat yang dihasilkan pada kondisi ULS untuk material

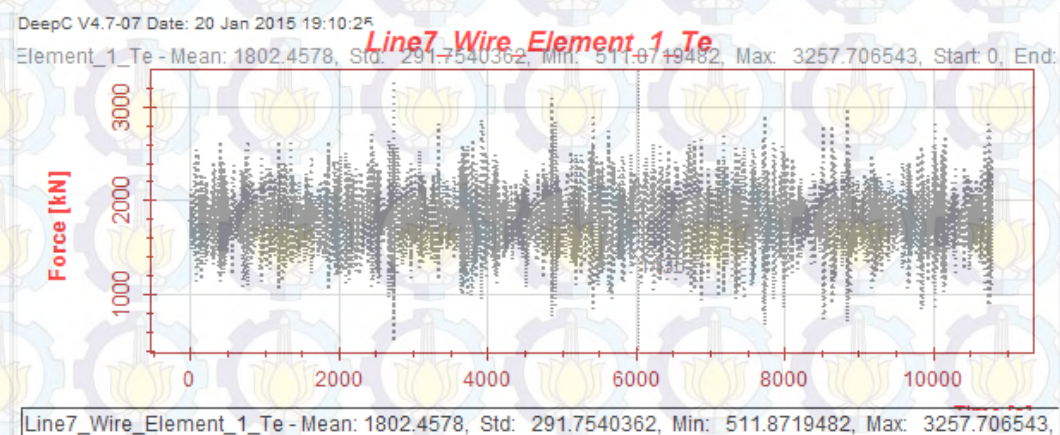
spiral strands tidak boleh melebihi 3922 kN dan untuk material *chain* tidak boleh melebihi 4170 kN.

Arah pembebanan yang akan diberikan dalam analisis ULS ini adalah 90° , 45° , dan 0° . Alasannya, melihat pada karakteristik analisa respons struktur sebelumnya, maka dari arah gelombang di atas sudah cukup memberikan informasi mengenai arah-arrah pembebanan lain yang simetri.

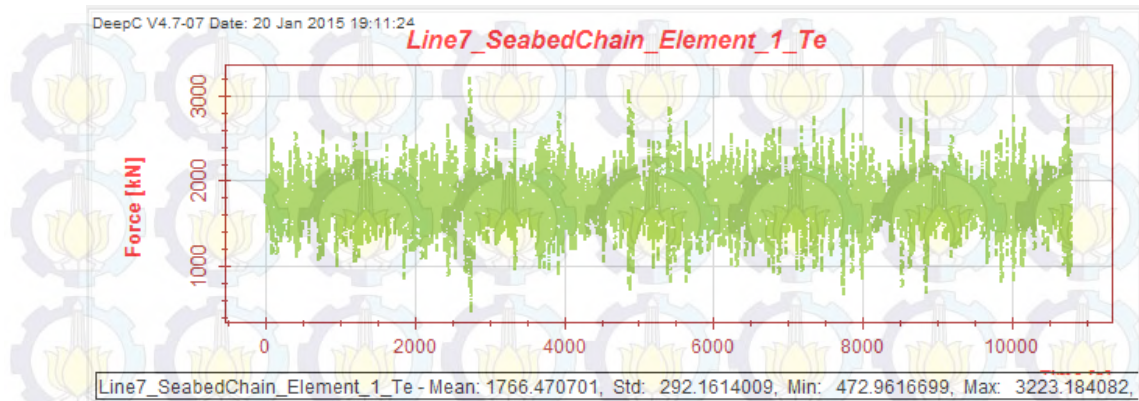
Hasil analisis *line* yang ditampilkan pada analisa ini hanya menampilkan line dengan *tension* tertinggi untuk tiap arah pembebanan. Hal ini dikarenakan jika line yang memiliki nilai *tension* maksimum tersebut sudah aman, maka line lain sudah dipastikan dalam kondisi aman.



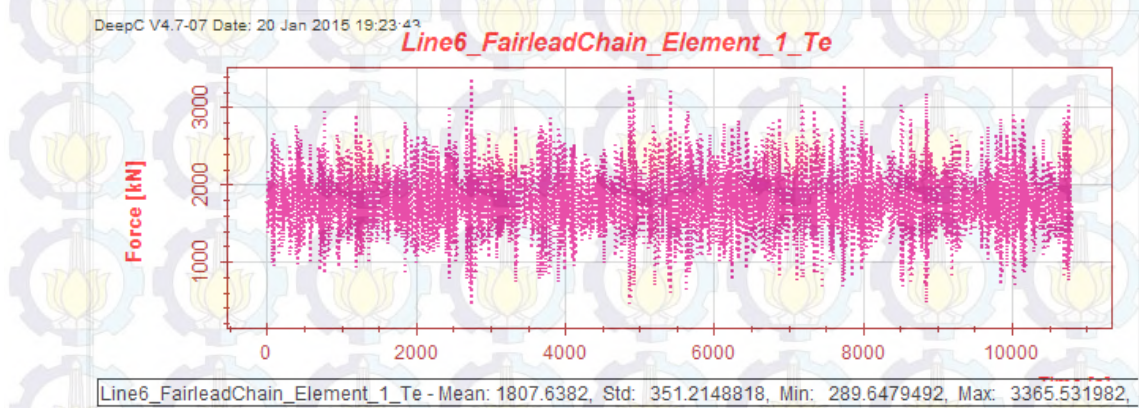
Gambar 4.29 *Tension fairlead chain line 7* arah pembebanan 0°



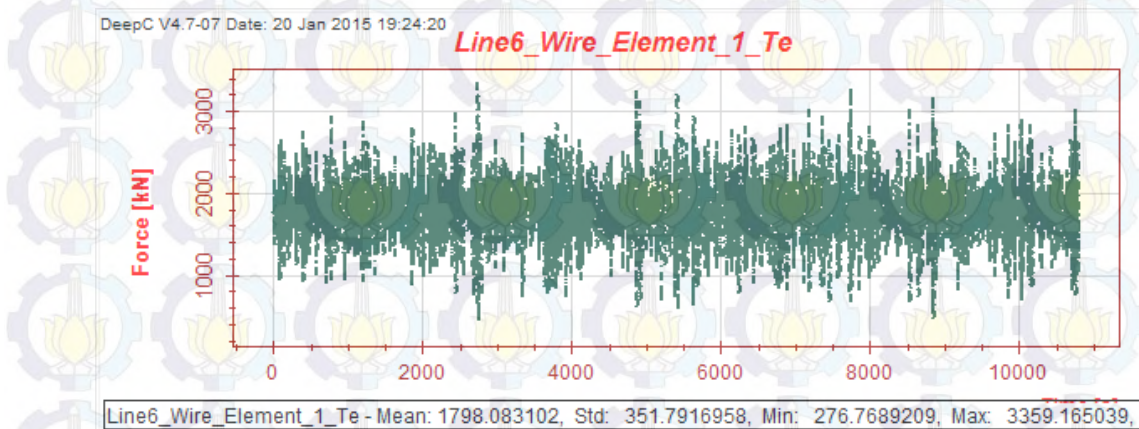
Gambar 4.30 *Tension wire rope line 7* arah pembebanan 0°



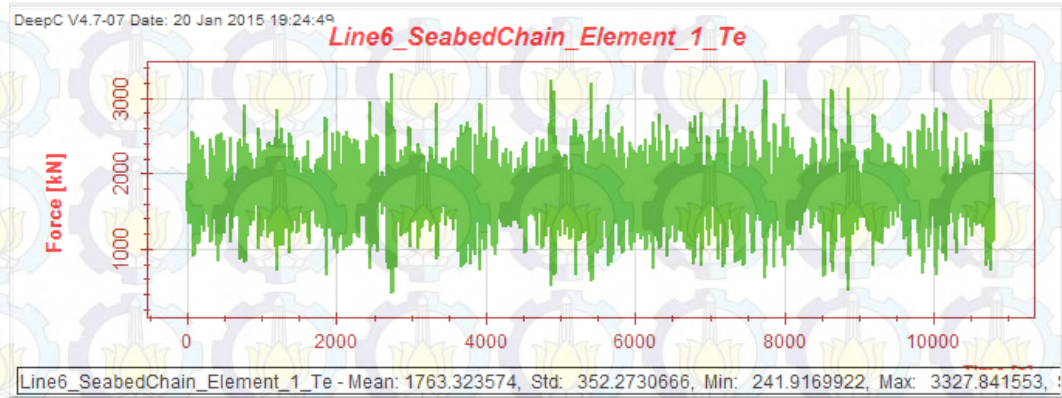
Gambar 4.31 *Tension seabed chain line 7 arah pembebanan 0°*



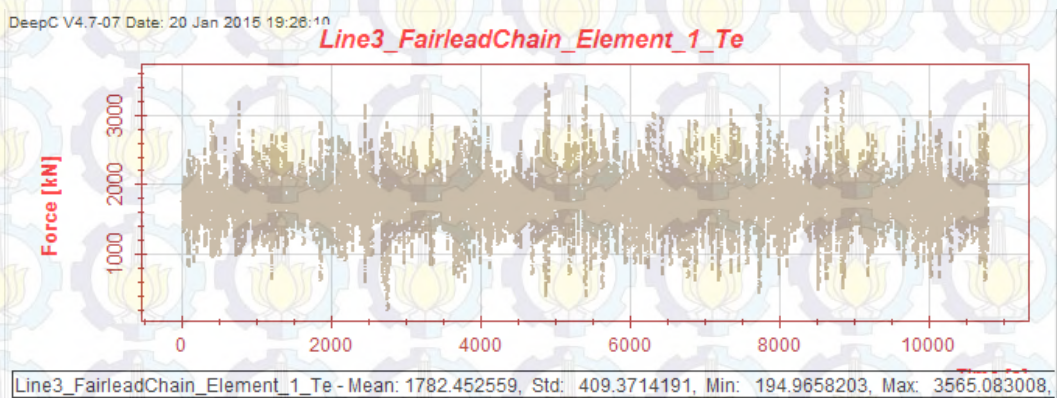
Gambar 4.32 *Tension fairlead chain line 6 arah pembebanan 45°*



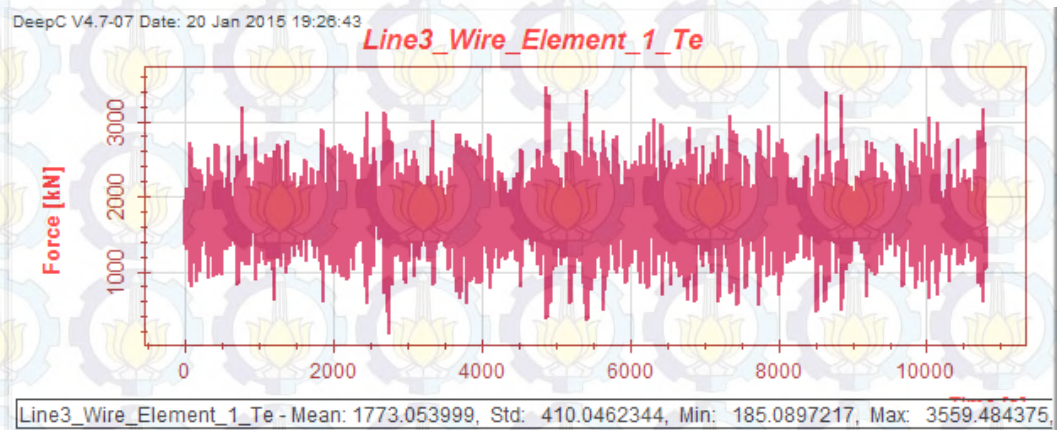
Gambar 4.33 *Tension wile rope line 6 arah pembebanan 45°*



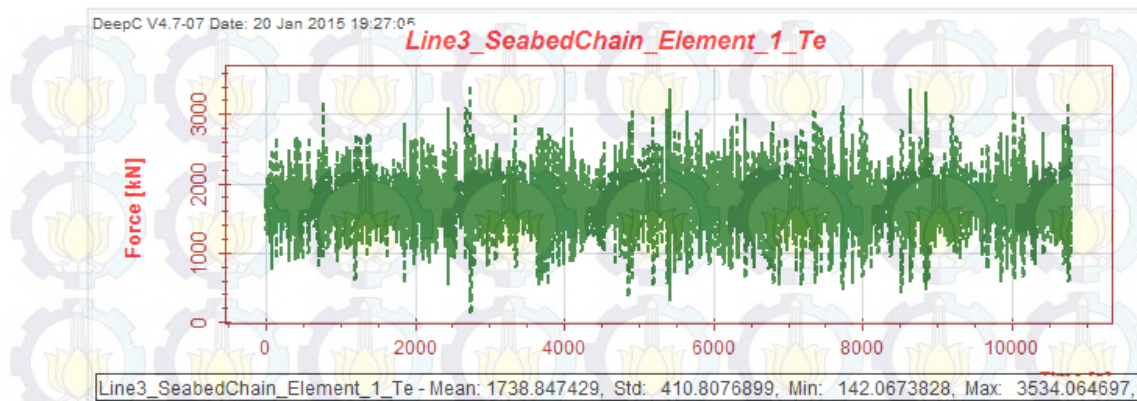
Gambar 4.34 *Tension seabed chain line 6 arah pembebanan 45°*



Gambar 4.35 *Tension fairleads chain line 3 arah pembebanan 90°*



Gambar 4.36 *Tension wire rope line 3 arah pembebanan 90°*



Gambar 4.37 *Tension seabed chain line 3* arah pembebanan 90°

Dari grafik *tension* yang ditunjukkan pada Gambar 4.29 – Gambar 4.37, selama durasi waktu simulasi 3 jam (10800 s) maka didapat nilai *tension* maksimum tiap-tiap *mooring line* masing-masing seperti pada Tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.6 Nilai *tension* maksimum pada tiap *line* untuk kondisi ULS

Arah Pembebanan	<i>Tension</i> Maksimal (kN)		
	<i>Fairlead Chain</i>	<i>Wire Rope</i>	<i>Seabed Chain</i>
0° (Line 7)	3264.32	3257.70	3223.18
45° (Line 6)	3363.52	3359.16	3327.84
90° (Line 3)	3565.08	3559.48	3534.06

Dari Tabel 4.6 dinyatakan bahwa nilai *tension* maksimum pada *line 3* kondisi ULS terbesar adalah terjadi pada arah pembebanan (*heading*) 90° dengan nilai yang tertera pada Tabel tersebut. Arah pembebanan ini yang akan digunakan untuk analisis kondisi ALS. Karena dari hasil analisis ULS diketahui bahwa *tension* maksimum pada *line 3* memiliki nilai yang signifikan dan layak untuk digunakan dalam analisis ALS.

4.6.2 Analisis *Tension* Tali Tambat untuk *Semisubmersible* pada Kondisi ALS

Resume hasil analisis *tension* untuk kondisi ALS (*one lines damage*) dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.38 hingga Gambar 4.37 serta beberapa penjelasannya. Sebelumnya perlu dihitung terlebih dahulu berapa nilai *tension*

maksimum yang diizinkan oleh API RP 2SK 2nd edition. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

- Untuk *Wire Rope Spiral Strands*

$$\text{Safety Factor} = \frac{\text{Minimum Breaking Load}}{\text{Maximum Tension}}$$

$$1.25 = \frac{6550 \text{ kN}}{\text{Maximum Tension}}$$

$$\text{Maximum Tension} = 5240 \text{ kN}$$

- Untuk *Chain (Fairlead Chain & Seabed Chain)*

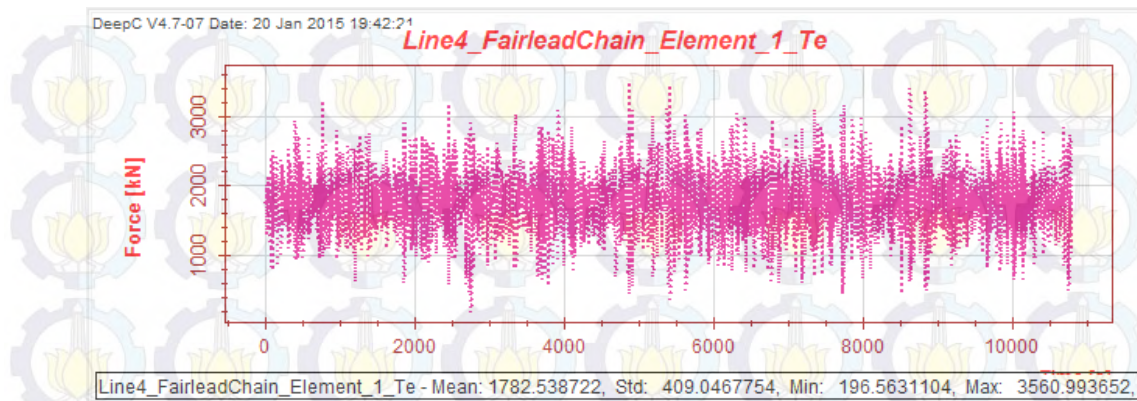
$$\text{Safety Factor} = \frac{\text{Minimum Breaking Load}}{\text{Maximum Tension}}$$

$$1.25 = \frac{6964 \text{ kN}}{\text{Maximum Tension}}$$

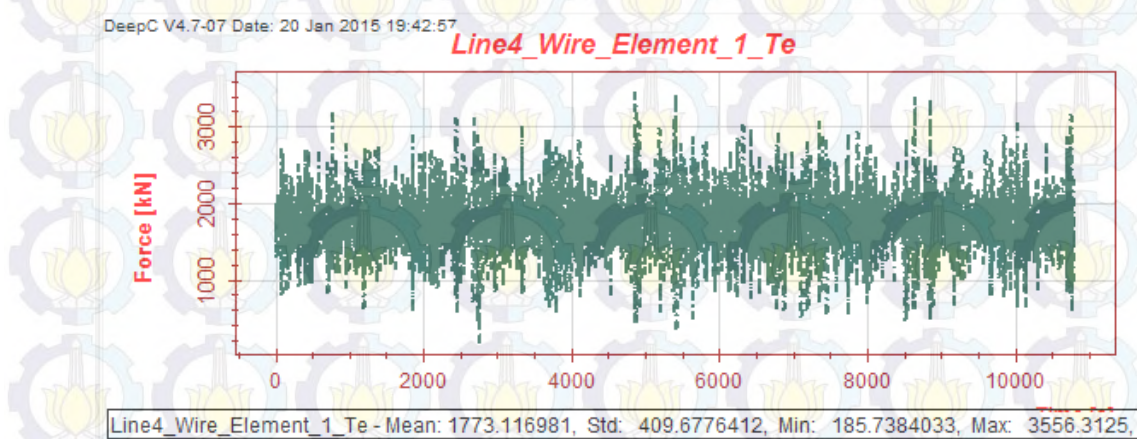
$$\text{Maximum Tension} = 5571.2 \text{ kN}$$

Dari perhitungan kriteria tersebut maka dapat disimpulkan bahwa nilai *tension* maksimum tali tambat yang dihasilkan pada kondisi ALS untuk material *spiral strands* tidak boleh melebihi 5240 kN dan untuk material *chain* tidak boleh melebihi 5571.2 kN.

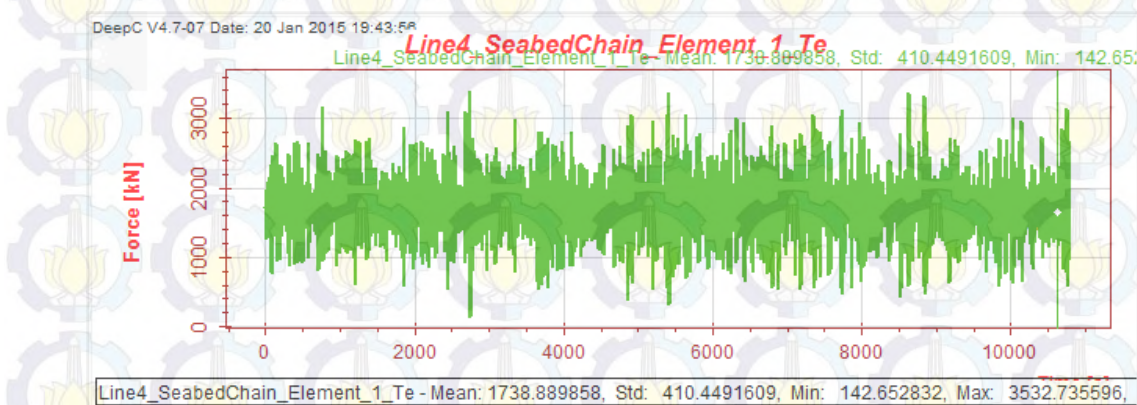
Pada kondisi ALS ini, analisis dilakukan untuk arah yang memiliki nilai signifikan pada kondisi ULS. Seperti yang sudah diketahui bahwa analisis ALS dilakukan untuk arah 90° saja. Dan setelah melakukan analisis dihasilkan nilai *tension* maksimum terbesar adalah pada saat line 3 diputus. Kemudian, gambar analisis yang ditampilkan hanya pada kondisi line yang mengalami *tension* maksimal. Hal ini dikarenakan jika line dengan *tension* maksimal tersebut sudah aman, maka line yang lain juga sudah dipastikan dalam kondisi aman.



Gambar 4.38 *Tension fairlead chain line 4 arah pembebanan 90°*



Gambar 4.39 *Tension wire rope line 4 arah pembebanan 90°*



Gambar 4.40 *Tension seabed chain line 4 arah pembebanan 90°*

Tabel 4.7 Nilai *tension* maksimum pada line 4 untuk kondisi ALS

Arah Pembebanan	<i>Tension</i> Maksimal (kN)		
	<i>Fairlead Chain</i>	<i>Wire Rope</i>	<i>Seabed Chain</i>
90° (Line 4)	3560.99	3556.31	3532.73

Dari Tabel 4.7, dapat terlihat bahwa *tension* maksimum yang terjadi pada line 4 adalah 3560.99 kN pada *fairlead chain*. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa untuk kondisi ALS, seluruh nilai *tension* maksimum berada pada batas aman sesuai kriteria API RP 2SK^{2nd} edition.

BAB V

PENUTUP

5.1. KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Besar respons gerak pada ketiga kondisi muatan *semisubmersible* saat terapung bebas (*free floating*) yang memiliki nilai tertinggi atau dominan adalah untuk gerakan *heave*, *surge* dan *sway*. Di mana ketiga gerakan tersebut merupakan gerakan translasi bangunan apung. Dari sinilah dapat diambil kesimpulan bahwa suatu sistem tambat sangat diperlukan untuk meredam/mengurangi gerakan *semisubmersible* tersebut saat beroperasi.
2. Besar respons gerak *semisubmersible* pada ketiga kondisi muatan saat ia tertambat dengan spread mooring memiliki nilai yang lebih kecil dibanding dengan respons gerak saat ia terapung bebas. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 dimana dalam tabel tersebut telah ditampilkan resume nilai RAO untuk kondisi terapung bebas dan tertambat. Dari kedua tabel resume tersebut maka dapat disimpulkan bahwa nilai respons gerak untuk kedua kondisi tersebut memiliki selisih yang cukup signifikan. Hal ini berarti menunjukkan bahwa sistem tambat spread mooring memberi efek yang sangat penting saat pengoperasian *semisubmersible*.
3. Hasil untuk *tension* maksimum tali tambat dibagi menjadi dua yaitu pada kondisi ULS dan ALS. Berikut ini adalah hasil yang diperoleh:
 - a. Hasil analisis kondisi ULS, *tension* maksimum terbesar adalah terjadi pada line 3 dari arah pembebanan 45° , yakni dengan sebesar 3565.08 kN untuk *fairlead chain*, 3559.48 kN untuk *wire rope spiral strand* dan 3534.06 kN untuk *seabed chain*. Nilai *tension* maksimum yang dihasilkan tersebut telah memenuhi batas aman kriteria *safety factor* sesuai API RP 2SK^{2nd} edition.

- b. Analisis untuk kondisi ALS hanya dilakukan pada arah pembebanan yang menghasilkan *tension* maksimum terbesar ketika analisis kondisi ULS yaitu arah 45°. Dari arah pembebanan tersebut dihasilkan nilai *tension* tali tambat maksimum saat line 3 diputus pada line 4 sebesar 3560.99 kN untuk *fairlead chain*, 3556.31 kN untuk *wire rope spiral strand* dan 3523.73 kN untuk *seabed chain*. Nilai *tension* maksimum pada kondisi ALS tersebut telah memenuhi batas aman kriteria *safety factor* sesuai API RP 2SK^{2nd} edition.

5.2. SARAN

Saran-saran yang dapat penulis berikan untuk pengembangan penelitian Tugas Akhir ini ke depannya dapat dijabarkan sebagai berikut.

1. Dianjurkan penambahan *floater* pada sambungan tali tambat sehingga berat tali tambat tidak terlalu membebani badan *semisubmersible*. Dengan begitu sarat air dan respons akan berubah.
2. Dianjurkan untuk menambahkan *riser* dalam sistem, dikarenakan *riser* dapat menambah kekakuan sekaligus meredam gerakan dari *semisubmersible*. Selain itu, penting untuk mengetahui apakah *mooring line* yang telah dipasang mampu melindungi *riser* dengan baik.
3. Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan melakukan analisis detail struktur pada *mooring attachment* yang ada pada struktur *semisubmersible*. Hal ini penting untuk mengetahui kekuatan dari *mooring attachment* terhadap beban *mooring line* yang terjadi.

LAMPIRAN A TABEL STATISTIK RAO FREE FLOATING

Heading	0					
Encounter	Motion					
Frequency	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
(Rad/Sec)	Ampl,	Ampl,	Ampl,	Ampl,	Ampl,	Ampl,
0.1000	2.5860	0.0000	0.9939	0.0000	0.1015	0.0000
0.2000	1.3330	0.0000	1.0090	0.0000	0.2363	0.0000
0.3000	0.9326	0.0000	1.0830	0.0000	0.4707	0.0000
0.4000	0.7997	0.0000	2.1970	0.0000	1.5960	0.0000
0.5000	0.6344	0.0000	0.1826	0.0000	0.4337	0.0000
0.6000	0.4456	0.0000	0.3176	0.0000	0.6323	0.0000
0.7000	0.2555	0.0000	0.2655	0.0000	0.6515	0.0000
0.8000	0.0703	0.0000	0.1548	0.0000	0.5837	0.0000
0.9000	0.1152	0.0000	0.0628	0.0000	0.4393	0.0000
1.0000	0.2170	0.0000	0.0209	0.0000	0.1768	0.0000
1.1000	0.1580	0.0000	0.0045	0.0000	0.0374	0.0000
1.2000	0.0727	0.0000	0.0071	0.0000	0.0231	0.0000
1.3000	0.0093	0.0000	0.0109	0.0000	0.0318	0.0000
1.4000	0.0887	0.0000	0.0091	0.0000	0.0385	0.0000
1.5000	0.1449	0.0000	0.0081	0.0000	0.0184	0.0000
1.6000	0.1151	0.0000	0.0038	0.0000	0.0094	0.0000
1.7000	0.0397	0.0000	0.0006	0.0000	0.0101	0.0000
1.8000	0.0159	0.0000	0.0008	0.0000	0.0039	0.0000
1.9000	0.0271	0.0000	0.0001	0.0000	0.0039	0.0000
2.0000	0.0070	0.0000	0.0001	0.0000	0.0005	0.0000
2.1000	0.0140	0.0000	0.0001	0.0000	0.0050	0.0000
2.2000	0.0194	0.0000	0.0001	0.0000	0.0061	0.0000
2.3000	0.0142	0.0000	0.0001	0.0000	0.0038	0.0000
2.4000	0.0080	0.0000	0.0001	0.0000	0.0037	0.0000
2.5000	0.0032	0.0000	0.0001	0.0000	0.0018	0.0000
2.6000	0.0062	0.0000	0.0000	0.0000	0.0031	0.0000
2.7000	0.0045	0.0000	0.0001	0.0000	0.0022	0.0000
2.8000	0.0013	0.0000	0.0001	0.0000	0.0004	0.0000
2.9000	0.0013	0.0000	0.0001	0.0000	0.0009	0.0000
3.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Max	2.586	3.91E-10	2.197	7.45E-08	1.596	1.92E-08

Heading 45

Encounter	Motion					
Frequency	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
(Rad/Sec)	Ampl,	Ampl,	Ampl,	Ampl,	Ampl,	Ampl,
0.1000	1.8300	1.8320	0.9945	0.0443	0.0717	0.1203
0.2000	0.9449	0.9471	1.0120	0.2066	0.1669	0.1406
0.3000	0.6640	0.6710	1.0970	2.9320	0.3310	0.1795
0.4000	0.5662	0.5387	2.3090	0.0537	1.0760	0.2485
0.5000	0.4685	0.4376	0.1165	0.1838	0.3359	0.3363
0.6000	0.3536	0.3310	0.2684	0.2998	0.4737	0.4104
0.7000	0.2437	0.2235	0.2328	0.3507	0.4871	0.4445
0.8000	0.1407	0.1229	0.1423	0.3447	0.4306	0.4242
0.9000	0.0385	0.0372	0.0613	0.2809	0.3020	0.3701
1.0000	0.0264	0.0146	0.0219	0.1779	0.0996	0.3219
1.1000	0.0194	0.0265	0.0040	0.0888	0.0183	0.2131
1.2000	0.0046	0.0169	0.0032	0.0313	0.0160	0.0777
1.3000	0.0147	0.0073	0.0028	0.0152	0.0108	0.1191
1.4000	0.0298	0.0296	0.0024	0.0394	0.0095	0.1705
1.5000	0.0186	0.0115	0.0015	0.0147	0.0166	0.1639
1.6000	0.0329	0.0179	0.0011	0.0211	0.0184	0.1362
1.7000	0.0451	0.0317	0.0008	0.0385	0.0122	0.1128
1.8000	0.0424	0.0351	0.0005	0.0445	0.0078	0.0622
1.9000	0.0205	0.0179	0.0002	0.0226	0.0024	0.0251
2.0000	0.0063	0.0078	0.0001	0.0106	0.0019	0.0061
2.1000	0.0025	0.0016	0.0000	0.0024	0.0037	0.0194
2.2000	0.0025	0.0046	0.0001	0.0070	0.0018	0.0224
2.3000	0.0057	0.0051	0.0002	0.0077	0.0021	0.0138
2.4000	0.0039	0.0013	0.0001	0.0020	0.0003	0.0148
2.5000	0.0036	0.0023	0.0000	0.0040	0.0006	0.0142
2.6000	0.0034	0.0019	0.0002	0.0038	0.0015	0.0084
2.7000	0.0003	0.0029	0.0002	0.0041	0.0001	0.0031
2.8000	0.0003	0.0012	0.0000	0.0015	0.0002	0.0053
2.9000	0.0009	0.0011	0.0001	0.0021	0.0005	0.0024
3.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Max	1.83	1.832	2.309	2.932	1.076	0.4445

Heading	90					
Encounter	Motion					
Frequency	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
(Rad/Sec)	Ampl,	Ampl,	Ampl,	Ampl,	Ampl,	Ampl,
0.1000	0.0001	2.5910	0.9951	0.0627	0.0000	0.0001
0.2000	0.0000	1.3410	1.0160	0.2934	0.0000	0.0000
0.3000	0.0000	0.9540	1.1110	4.2710	0.0000	0.0000
0.4000	0.0002	0.7740	2.3860	0.1185	0.0017	0.0000
0.5000	0.0000	0.6406	0.0871	0.2102	0.0003	0.0000
0.6000	0.0000	0.5026	0.2218	0.3649	0.0002	0.0001
0.7000	0.0000	0.3615	0.2003	0.4316	0.0002	0.0001
0.8000	0.0000	0.2276	0.1175	0.4323	0.0001	0.0001
0.9000	0.0001	0.1080	0.0254	0.3950	0.0001	0.0001
1.0000	0.0001	0.0055	0.0306	0.3426	0.0001	0.0002
1.1000	0.0001	0.0850	0.0423	0.2912	0.0000	0.0002
1.2000	0.0001	0.1595	0.0402	0.2490	0.0000	0.0002
1.3000	0.0001	0.1922	0.0373	0.1907	0.0000	0.0001
1.4000	0.0001	0.1613	0.0290	0.1269	0.0000	0.0001
1.5000	0.0000	0.1039	0.0195	0.0709	0.0000	0.0002
1.6000	0.0000	0.0547	0.0085	0.0330	0.0000	0.0001
1.7000	0.0000	0.0162	0.0016	0.0117	0.0000	0.0000
1.8000	0.0000	0.0134	0.0009	0.0222	0.0000	0.0001
1.9000	0.0000	0.0358	0.0010	0.0479	0.0000	0.0000
2.0000	0.0000	0.0314	0.0008	0.0414	0.0000	0.0001
2.1000	0.0000	0.0229	0.0005	0.0307	0.0000	0.0001
2.2000	0.0000	0.0082	0.0003	0.0104	0.0000	0.0003
2.3000	0.0000	0.0113	0.0003	0.0165	0.0000	0.0001
2.4000	0.0000	0.0114	0.0002	0.0170	0.0001	0.0000
2.5000	0.0000	0.0065	0.0002	0.0115	0.0001	0.0001
2.6000	0.0001	0.0031	0.0001	0.0065	0.0001	0.0001
2.7000	0.0000	0.0044	0.0001	0.0062	0.0001	0.0000
2.8000	0.0000	0.0035	0.0001	0.0068	0.0001	0.0001
2.9000	0.0000	0.0024	0.0000	0.0052	0.0000	0.0000
3.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Max	0.0002362	2.591	2.386	4.271	0.001654	0.000253

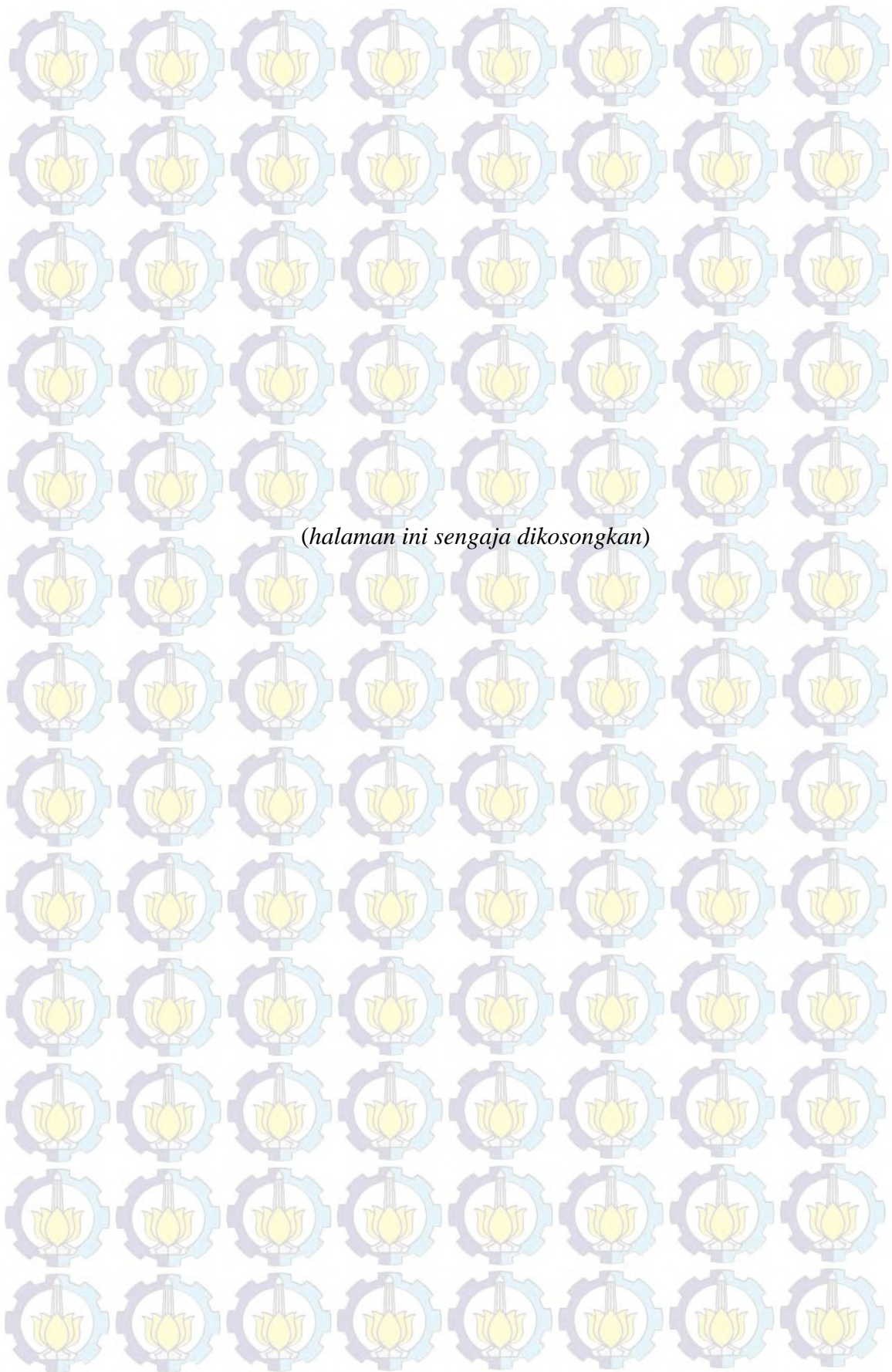
Encounter	Motion					
Frequency	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
(Rad/Sec)	Ampl,	Ampl,	Ampl,	Ampl,	Ampl,	Ampl,
0.1000	1.8300	1.8320	0.9945	0.0443	0.0717	0.1204
0.2000	0.9450	0.9470	1.0120	0.2066	0.1669	0.1406
0.3000	0.6641	0.6710	1.0970	2.9320	0.3310	0.1795
0.4000	0.5659	0.5383	2.3110	0.0537	1.0760	0.2485
0.5000	0.4686	0.4378	0.1164	0.1838	0.3359	0.3363
0.6000	0.3536	0.3311	0.2685	0.2998	0.4737	0.4104
0.7000	0.2437	0.2236	0.2329	0.3507	0.4871	0.4445
0.8000	0.1407	0.1229	0.1424	0.3448	0.4305	0.4242
0.9000	0.0385	0.0372	0.0614	0.2810	0.3019	0.3701
1.0000	0.0264	0.0145	0.0220	0.1780	0.0996	0.3219
1.1000	0.0194	0.0265	0.0040	0.0891	0.0183	0.2129
1.2000	0.0046	0.0169	0.0032	0.0315	0.0160	0.0777
1.3000	0.0147	0.0072	0.0028	0.0152	0.0108	0.1191
1.4000	0.0298	0.0296	0.0024	0.0394	0.0095	0.1702
1.5000	0.0186	0.0115	0.0015	0.0147	0.0166	0.1639
1.6000	0.0329	0.0179	0.0011	0.0211	0.0184	0.1363
1.7000	0.0451	0.0317	0.0008	0.0385	0.0122	0.1129
1.8000	0.0424	0.0350	0.0005	0.0445	0.0078	0.0624
1.9000	0.0206	0.0179	0.0002	0.0226	0.0024	0.0251
2.0000	0.0063	0.0078	0.0001	0.0105	0.0018	0.0059
2.1000	0.0025	0.0016	0.0000	0.0024	0.0037	0.0193
2.2000	0.0026	0.0045	0.0001	0.0069	0.0019	0.0223
2.3000	0.0057	0.0051	0.0002	0.0077	0.0021	0.0137
2.4000	0.0039	0.0013	0.0001	0.0020	0.0008	0.0148
2.5000	0.0036	0.0023	0.0000	0.0039	0.0006	0.0143
2.6000	0.0033	0.0019	0.0002	0.0037	0.0014	0.0085
2.7000	0.0003	0.0030	0.0002	0.0040	0.0001	0.0032
2.8000	0.0003	0.0012	0.0000	0.0014	0.0002	0.0049
2.9000	0.0008	0.0011	0.0001	0.0020	0.0005	0.0023
3.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Max	1.83	1.832	2.311	2.932	1.076	0.4445

Heading 180

Encounter	Motion					
Frequency	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
(Rad/Sec)	Ampl,	Ampl,	Ampl,	Ampl,	Ampl,	Ampl,
0.1000	2.5870	0.0000	0.9939	0.0000	0.1015	0.0000
0.2000	1.3330	0.0000	1.0090	0.0000	0.2363	0.0000
0.3000	0.9327	0.0000	1.0830	0.0000	0.4707	0.0000
0.4000	0.7952	0.0000	2.2010	0.0000	1.5960	0.0000
0.5000	0.6347	0.0000	0.1826	0.0000	0.4337	0.0000
0.6000	0.4457	0.0000	0.3177	0.0000	0.6323	0.0000
0.7000	0.2555	0.0000	0.2656	0.0000	0.6515	0.0000
0.8000	0.0703	0.0000	0.1549	0.0000	0.5836	0.0000
0.9000	0.1152	0.0000	0.0629	0.0000	0.4392	0.0000
1.0000	0.2169	0.0000	0.0210	0.0000	0.1767	0.0000
1.1000	0.1579	0.0000	0.0046	0.0000	0.0374	0.0000
1.2000	0.0726	0.0000	0.0071	0.0000	0.0231	0.0000
1.3000	0.0094	0.0000	0.0109	0.0000	0.0318	0.0000
1.4000	0.0887	0.0000	0.0091	0.0000	0.0385	0.0000
1.5000	0.1449	0.0000	0.0081	0.0000	0.0184	0.0000
1.6000	0.1151	0.0000	0.0038	0.0000	0.0094	0.0000
1.7000	0.0397	0.0000	0.0006	0.0000	0.0102	0.0000
1.8000	0.0159	0.0000	0.0008	0.0000	0.0040	0.0000
1.9000	0.0271	0.0000	0.0001	0.0000	0.0039	0.0000
2.0000	0.0070	0.0000	0.0001	0.0000	0.0006	0.0000
2.1000	0.0140	0.0000	0.0001	0.0000	0.0050	0.0000
2.2000	0.0195	0.0000	0.0001	0.0000	0.0061	0.0000
2.3000	0.0142	0.0000	0.0001	0.0000	0.0039	0.0000
2.4000	0.0080	0.0000	0.0001	0.0000	0.0035	0.0000
2.5000	0.0033	0.0000	0.0001	0.0000	0.0017	0.0000
2.6000	0.0063	0.0000	0.0000	0.0000	0.0030	0.0000
2.7000	0.0045	0.0000	0.0001	0.0000	0.0021	0.0000
2.8000	0.0013	0.0000	0.0001	0.0000	0.0005	0.0000
2.9000	0.0013	0.0000	0.0001	0.0000	0.0009	0.0000
3.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Max

2.587 2.27E-07 2.201 1.63E-07 1.596 1.1E-07



(halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN B TABEL STATISTIK RAO TETHERED

Heading 0						
Encounter	Motion					
Frequency	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
(Rad/Sec)	Ampl,	Ampl,	Ampl,	Ampl,	Ampl,	Ampl,
0.1000	2.6230	0.0000	0.9655	0.0000	0.0593	0.0000
0.2000	1.2130	0.0000	0.9591	0.0000	0.1767	0.0000
0.3000	0.9589	0.0000	0.9742	0.0000	0.3271	0.0000
0.4000	0.8208	0.0000	1.3800	0.0000	0.4768	0.0000
0.5000	0.6468	0.0000	0.2164	0.0000	0.7532	0.0000
0.6000	0.4637	0.0000	0.3550	0.0000	0.7486	0.0000
0.7000	0.2672	0.0000	0.2885	0.0000	0.7111	0.0000
0.8000	0.0724	0.0000	0.1661	0.0000	0.6149	0.0000
0.9000	0.1244	0.0000	0.0672	0.0000	0.4517	0.0000
1.0000	0.2296	0.0000	0.0225	0.0000	0.1781	0.0000
1.1000	0.1654	0.0000	0.0049	0.0000	0.0373	0.0000
1.2000	0.0762	0.0000	0.0075	0.0000	0.0242	0.0000
1.3000	0.0097	0.0000	0.0113	0.0000	0.0316	0.0000
1.4000	0.0924	0.0000	0.0096	0.0000	0.0389	0.0000
1.5000	0.1503	0.0000	0.0087	0.0000	0.0183	0.0000
1.6000	0.1188	0.0000	0.0043	0.0000	0.0101	0.0000
1.7000	0.0398	0.0000	0.0007	0.0000	0.0099	0.0000
1.8000	0.0172	0.0000	0.0009	0.0000	0.0029	0.0000
1.9000	0.0287	0.0000	0.0001	0.0000	0.0034	0.0000
2.0000	0.0086	0.0000	0.0001	0.0000	0.0007	0.0000
2.1000	0.0140	0.0000	0.0002	0.0000	0.0037	0.0000
2.2000	0.0213	0.0000	0.0001	0.0000	0.0060	0.0000
2.3000	0.0157	0.0000	0.0000	0.0000	0.0048	0.0000
2.4000	0.0088	0.0000	0.0000	0.0000	0.0031	0.0000
2.5000	0.0051	0.0000	0.0000	0.0000	0.0019	0.0000
2.6000	0.0066	0.0000	0.0000	0.0000	0.0026	0.0000
2.7000	0.0051	0.0000	0.0000	0.0000	0.0022	0.0000
2.8000	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000
2.9000	0.0024	0.0000	0.0000	0.0000	0.0010	0.0000
3.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Max	2.623	5.62E-08	1.38	2.78E-09	0.7532	1.9E-08

Encounter	Motion					
Frequency	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
(Rad/Sec)	Ampl,	Ampl,	Ampl,	Ampl,	Ampl,	Ampl,
0.1000	1.8550	1.9100	0.9659	0.0735	0.0419	0.0421
0.2000	0.8589	1.2620	0.9612	0.1593	0.1249	0.2148
0.3000	0.6818	0.6419	0.9855	0.2838	0.2301	0.6824
0.4000	0.5917	0.5535	1.4760	0.8445	0.3248	0.4541
0.5000	0.4758	0.4521	0.1151	0.3393	0.5923	0.4872
0.6000	0.3684	0.3412	0.2990	0.4089	0.5608	0.5333
0.7000	0.2559	0.2299	0.2522	0.4441	0.5304	0.5433
0.8000	0.1482	0.1255	0.1521	0.4207	0.4522	0.4992
0.9000	0.0398	0.0366	0.0651	0.3357	0.3089	0.4247
1.0000	0.0276	0.0164	0.0233	0.2081	0.0965	0.3631
1.1000	0.0193	0.0280	0.0043	0.0999	0.0153	0.2376
1.2000	0.0039	0.0174	0.0033	0.0326	0.0183	0.0847
1.3000	0.0158	0.0077	0.0029	0.0219	0.0124	0.1290
1.4000	0.0315	0.0321	0.0025	0.0489	0.0098	0.1871
1.5000	0.0196	0.0123	0.0015	0.0192	0.0169	0.1798
1.6000	0.0352	0.0186	0.0011	0.0257	0.0186	0.1519
1.7000	0.0475	0.0330	0.0008	0.0472	0.0116	0.1266
1.8000	0.0449	0.0367	0.0005	0.0539	0.0072	0.0690
1.9000	0.0217	0.0190	0.0001	0.0269	0.0029	0.0276
2.0000	0.0070	0.0084	0.0002	0.0119	0.0007	0.0067
2.1000	0.0025	0.0017	0.0000	0.0028	0.0012	0.0213
2.2000	0.0028	0.0052	0.0000	0.0080	0.0009	0.0246
2.3000	0.0064	0.0056	0.0000	0.0089	0.0021	0.0151
2.4000	0.0038	0.0015	0.0000	0.0022	0.0011	0.0162
2.5000	0.0038	0.0029	0.0000	0.0040	0.0015	0.0156
2.6000	0.0040	0.0027	0.0000	0.0034	0.0016	0.0092
2.7000	0.0001	0.0028	0.0000	0.0051	0.0002	0.0035
2.8000	0.0004	0.0011	0.0000	0.0021	0.0002	0.0057
2.9000	0.0011	0.0015	0.0000	0.0019	0.0005	0.0025
3.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Max

1.855 1.91 1.476 0.8445 0.5923 0.6824

Heading 90

Encounter	Motion					
Frequency	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
(Rad/Sec)	Ampl,	Ampl,	Ampl,	Ampl,	Ampl,	Ampl,
0.1000	0.0001	2.7010	0.9662	0.1062	0.0018	0.0304
0.2000	0.0002	1.7580	0.9633	0.2277	0.0021	0.0230
0.3000	0.0003	0.9128	0.9967	0.4163	0.0031	0.0188
0.4000	0.0009	0.7951	1.5710	1.5040	0.0112	0.0042
0.5000	0.0000	0.6634	0.0164	0.3295	0.0006	0.0018
0.6000	0.0000	0.5200	0.2452	0.4969	0.0004	0.0010
0.7000	0.0000	0.3743	0.2156	0.5500	0.0001	0.0006
0.8000	0.0000	0.2359	0.1237	0.5348	0.0000	0.0004
0.9000	0.0000	0.1113	0.0247	0.4818	0.0001	0.0002
1.0000	0.0000	0.0031	0.0328	0.4142	0.0001	0.0002
1.1000	0.0000	0.0910	0.0445	0.3504	0.0001	0.0003
1.2000	0.0000	0.1681	0.0423	0.3010	0.0000	0.0002
1.3000	0.0000	0.2015	0.0394	0.2364	0.0000	0.0001
1.4000	0.0001	0.1689	0.0306	0.1614	0.0000	0.0002
1.5000	0.0001	0.1088	0.0206	0.0921	0.0000	0.0002
1.6000	0.0000	0.0574	0.0089	0.0417	0.0000	0.0001
1.7000	0.0000	0.0175	0.0016	0.0123	0.0000	0.0000
1.8000	0.0000	0.0141	0.0010	0.0270	0.0000	0.0002
1.9000	0.0000	0.0372	0.0011	0.0586	0.0000	0.0000
2.0000	0.0000	0.0330	0.0007	0.0499	0.0000	0.0001
2.1000	0.0000	0.0243	0.0005	0.0364	0.0000	0.0001
2.2000	0.0000	0.0081	0.0002	0.0133	0.0000	0.0003
2.3000	0.0000	0.0121	0.0001	0.0190	0.0000	0.0001
2.4000	0.0002	0.0123	0.0000	0.0193	0.0001	0.0001
2.5000	0.0002	0.0082	0.0000	0.0114	0.0001	0.0001
2.6000	0.0001	0.0046	0.0000	0.0057	0.0001	0.0001
2.7000	0.0000	0.0042	0.0000	0.0074	0.0001	0.0000
2.8000	0.0000	0.0051	0.0000	0.0055	0.0001	0.0001
2.9000	0.0000	0.0037	0.0000	0.0037	0.0000	0.0000
3.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Max

0.0008734 2.701 1.571 1.504 0.01119 0.0304

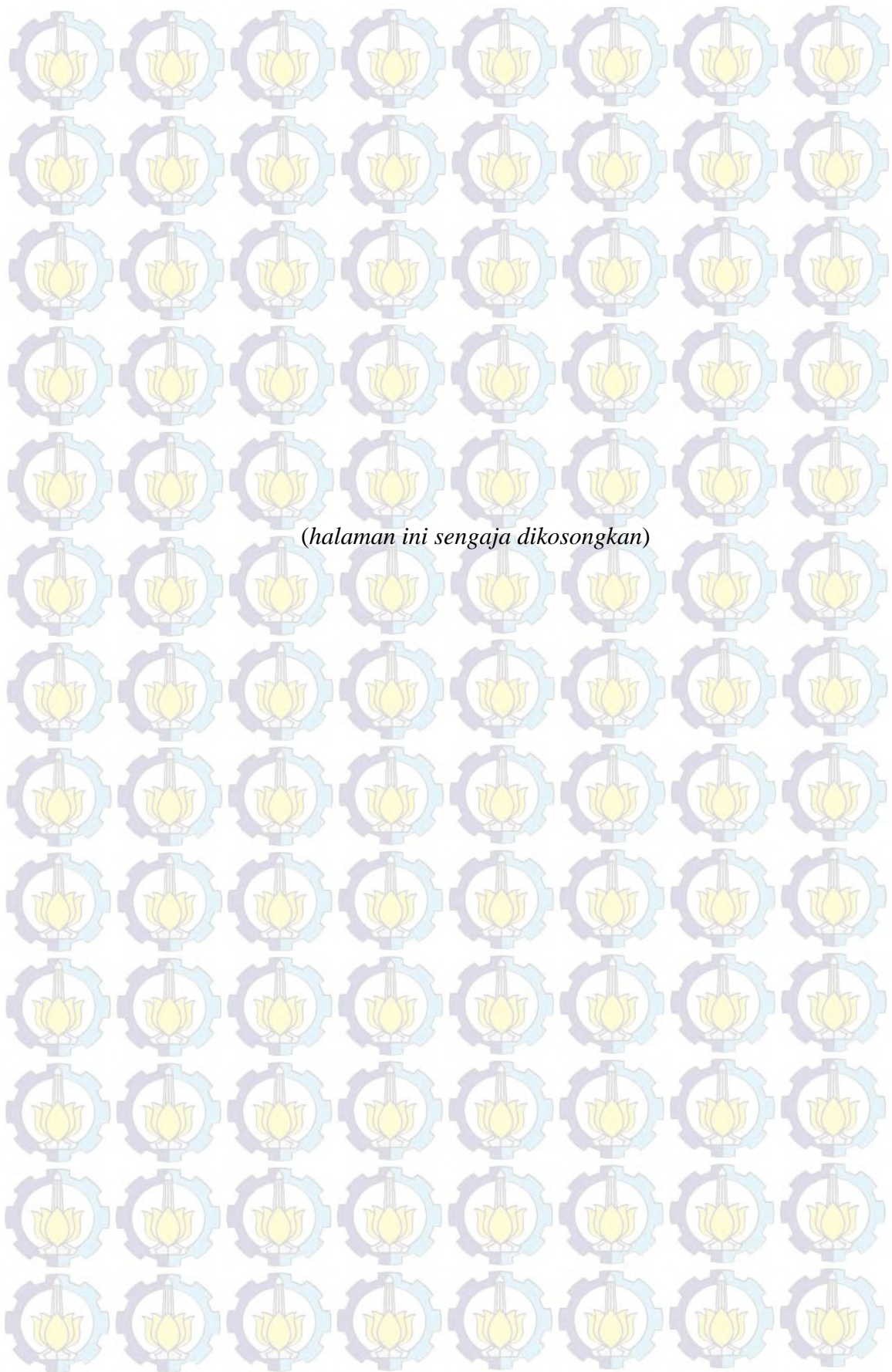
Encounter	Motion					
Frequency	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
(Rad/Sec)	Ampl,	Ampl,	Ampl,	Ampl,	Ampl,	Ampl,
0.1000	1.8550	1.9100	0.9659	0.0737	0.0419	0.0284
0.2000	0.8589	1.2620	0.9612	0.1597	0.1249	0.2077
0.3000	0.6818	0.6419	0.9855	0.2831	0.2301	0.6764
0.4000	0.5917	0.5535	1.4760	0.8103	0.3247	0.4527
0.5000	0.4758	0.4521	0.1151	0.3289	0.5922	0.4864
0.6000	0.3684	0.3412	0.2991	0.4063	0.5608	0.5328
0.7000	0.2559	0.2299	0.2523	0.4421	0.5305	0.5429
0.8000	0.1482	0.1255	0.1521	0.4190	0.4522	0.4989
0.9000	0.0398	0.0366	0.0651	0.3344	0.3088	0.4246
1.0000	0.0275	0.0164	0.0233	0.2071	0.0965	0.3630
1.1000	0.0193	0.0281	0.0043	0.0994	0.0153	0.2374
1.2000	0.0039	0.0175	0.0033	0.0325	0.0183	0.0847
1.3000	0.0158	0.0077	0.0029	0.0220	0.0124	0.1290
1.4000	0.0315	0.0321	0.0025	0.0490	0.0098	0.1868
1.5000	0.0196	0.0123	0.0015	0.0192	0.0169	0.1797
1.6000	0.0352	0.0186	0.0011	0.0257	0.0186	0.1520
1.7000	0.0475	0.0330	0.0008	0.0472	0.0116	0.1268
1.8000	0.0450	0.0366	0.0005	0.0539	0.0072	0.0692
1.9000	0.0217	0.0190	0.0001	0.0269	0.0029	0.0277
2.0000	0.0070	0.0084	0.0002	0.0119	0.0007	0.0065
2.1000	0.0025	0.0017	0.0000	0.0028	0.0012	0.0212
2.2000	0.0028	0.0051	0.0000	0.0079	0.0009	0.0245
2.3000	0.0067	0.0057	0.0000	0.0090	0.0022	0.0151
2.4000	0.0044	0.0015	0.0000	0.0023	0.0017	0.0162
2.5000	0.0037	0.0029	0.0000	0.0039	0.0014	0.0156
2.6000	0.0040	0.0026	0.0000	0.0034	0.0015	0.0093
2.7000	0.0002	0.0027	0.0000	0.0053	0.0001	0.0036
2.8000	0.0004	0.0011	0.0000	0.0021	0.0002	0.0053
2.9000	0.0011	0.0015	0.0000	0.0019	0.0005	0.0025
3.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Max 1.855 1.91 1.476 0.8103 0.5922 0.6764

Heading 180

Encounter	Motion					
Frequency	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
(Rad/Sec)	Ampl,	Ampl,	Ampl,	Ampl,	Ampl,	Ampl,
0.1000	2.6230	0.0000	0.9655	0.0000	0.0593	0.0000
0.2000	1.2130	0.0000	0.9591	0.0000	0.1767	0.0000
0.3000	0.9589	0.0000	0.9742	0.0000	0.3271	0.0000
0.4000	0.8208	0.0000	1.3800	0.0000	0.4768	0.0000
0.5000	0.6468	0.0000	0.2164	0.0000	0.7533	0.0000
0.6000	0.4637	0.0000	0.3551	0.0000	0.7487	0.0000
0.7000	0.2671	0.0000	0.2885	0.0000	0.7112	0.0000
0.8000	0.0723	0.0000	0.1662	0.0000	0.6149	0.0000
0.9000	0.1244	0.0000	0.0672	0.0000	0.4516	0.0000
1.0000	0.2295	0.0000	0.0225	0.0000	0.1781	0.0000
1.1000	0.1653	0.0000	0.0049	0.0000	0.0373	0.0000
1.2000	0.0762	0.0000	0.0075	0.0000	0.0242	0.0000
1.3000	0.0098	0.0000	0.0113	0.0000	0.0316	0.0000
1.4000	0.0924	0.0000	0.0096	0.0000	0.0388	0.0000
1.5000	0.1503	0.0000	0.0087	0.0000	0.0183	0.0000
1.6000	0.1188	0.0000	0.0043	0.0000	0.0101	0.0000
1.7000	0.0398	0.0000	0.0007	0.0000	0.0100	0.0000
1.8000	0.0172	0.0000	0.0009	0.0000	0.0030	0.0000
1.9000	0.0287	0.0000	0.0001	0.0000	0.0034	0.0000
2.0000	0.0086	0.0000	0.0001	0.0000	0.0007	0.0000
2.1000	0.0140	0.0000	0.0002	0.0000	0.0038	0.0000
2.2000	0.0213	0.0000	0.0001	0.0000	0.0060	0.0000
2.3000	0.0158	0.0000	0.0000	0.0000	0.0048	0.0000
2.4000	0.0087	0.0000	0.0000	0.0000	0.0030	0.0000
2.5000	0.0049	0.0000	0.0000	0.0000	0.0018	0.0000
2.6000	0.0067	0.0000	0.0000	0.0000	0.0026	0.0000
2.7000	0.0052	0.0000	0.0000	0.0000	0.0021	0.0000
2.8000	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000
2.9000	0.0024	0.0000	0.0000	0.0000	0.0010	0.0000
3.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Max 2.623 2.94E-07 1.38 5.62E-08 0.7533 1.59E-07



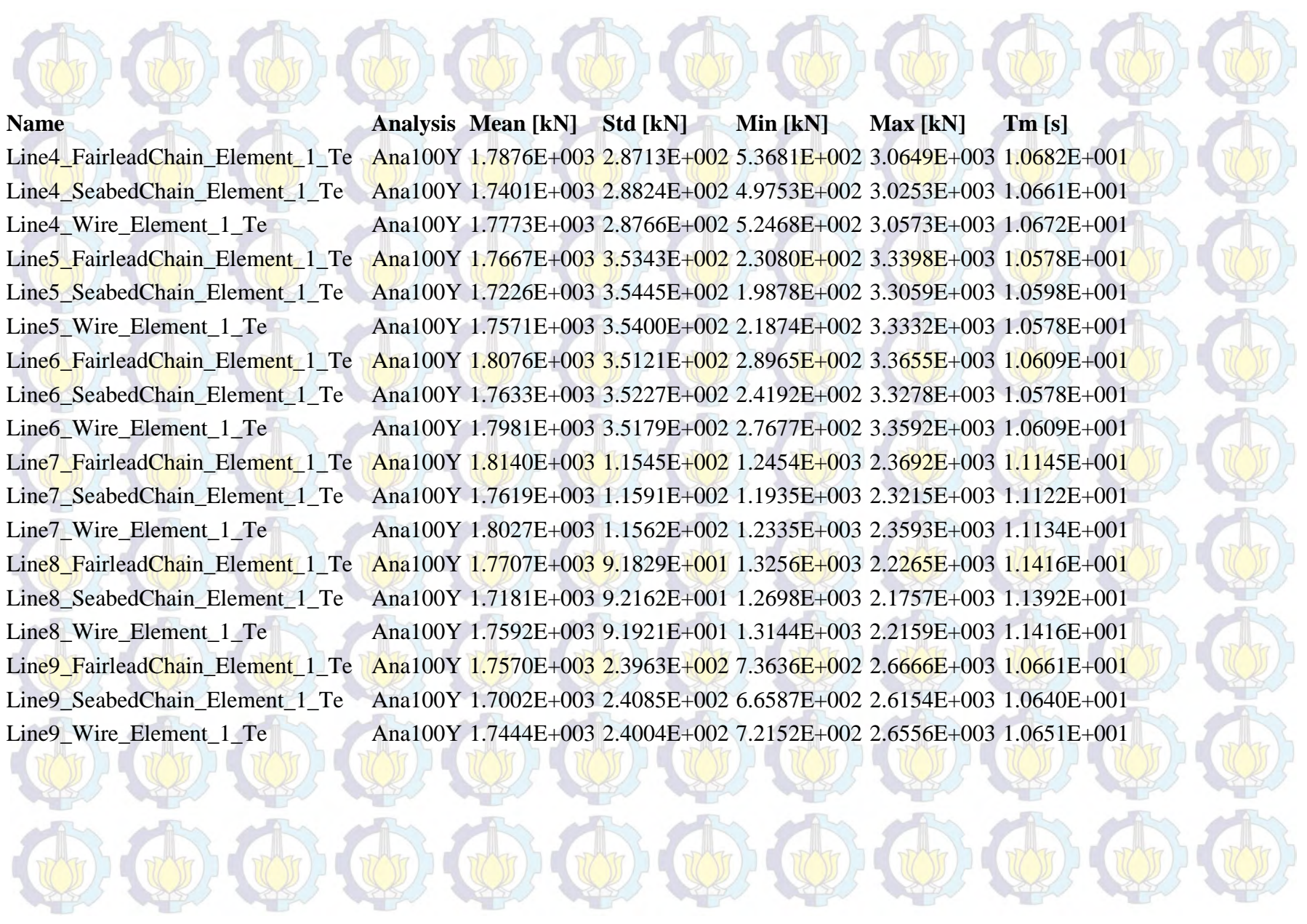
LAMPIRAN C TABEL STATISTIK TENSION ULS ARAH 0°

Name	Analysis	Mean [kN]	Std [kN]	Min [kN]	Max [kN]	Tm [s]
Line10_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7823E+003	7.3107E+001	1.5056E+003	2.1253E+003	1.1638E+001
Line10_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7293E+003	7.3513E+001	1.4509E+003	2.0745E+003	1.1638E+001
Line10_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.7707E+003	7.3183E+001	1.4939E+003	2.1141E+003	1.1638E+001
Line11_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7501E+003	2.6803E+002	5.6764E+002	2.7847E+003	1.0355E+001
Line11_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.6911E+003	2.6921E+002	5.0728E+002	2.7348E+003	1.0335E+001
Line11_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.7370E+003	2.6847E+002	5.5197E+002	2.7742E+003	1.0355E+001
Line12_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7450E+003	2.8662E+002	4.6764E+002	2.8473E+003	1.0305E+001
Line12_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.6851E+003	2.8780E+002	4.0987E+002	2.7977E+003	1.0266E+001
Line12_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.7317E+003	2.8708E+002	4.5158E+002	2.8365E+003	1.0286E+001
Line1_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7450E+003	2.8662E+002	4.6764E+002	2.8473E+003	1.0305E+001
Line1_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.6851E+003	2.8780E+002	4.0987E+002	2.7977E+003	1.0266E+001
Line1_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.7317E+003	2.8708E+002	4.5158E+002	2.8365E+003	1.0286E+001
Line2_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7501E+003	2.6803E+002	5.6764E+002	2.7847E+003	1.0355E+001
Line2_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.6911E+003	2.6921E+002	5.0728E+002	2.7348E+003	1.0335E+001
Line2_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.7370E+003	2.6847E+002	5.5197E+002	2.7742E+003	1.0355E+001
Line3_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7823E+003	7.3107E+001	1.5056E+003	2.1253E+003	1.1638E+001
Line3_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7293E+003	7.3513E+001	1.4509E+003	2.0745E+003	1.1638E+001
Line3_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.7707E+003	7.3183E+001	1.4939E+003	2.1141E+003	1.1638E+001

Name	Analysis	Mean [kN]	Std [kN]	Min [kN]	Max [kN]	Tm [s]
Line4_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7859E+003	6.9004E+001	1.4493E+003	2.1142E+003	1.1575E+001
Line4_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7331E+003	6.9262E+001	1.3935E+003	2.0623E+003	1.1575E+001
Line4_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.7743E+003	6.9069E+001	1.4377E+003	2.1028E+003	1.1575E+001
Line5_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7700E+003	2.7054E+002	5.4727E+002	3.1246E+003	1.0305E+001
Line5_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7232E+003	2.7143E+002	5.0199E+002	3.0890E+003	1.0266E+001
Line5_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.7598E+003	2.7101E+002	5.3497E+002	3.1175E+003	1.0305E+001
Line6_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.8099E+003	2.9104E+002	5.2122E+002	3.2603E+003	1.0256E+001
Line6_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7640E+003	2.9194E+002	4.7002E+002	3.2200E+003	1.0246E+001
Line6_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.8000E+003	2.9153E+002	5.0845E+002	3.2539E+003	1.0246E+001
Line7_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.8124E+003	2.9126E+002	5.2471E+002	3.2642E+003	1.0256E+001
Line7_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7665E+003	2.9216E+002	4.7296E+002	3.2232E+003	1.0246E+001
Line7_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.8025E+003	2.9175E+002	5.1187E+002	3.2577E+003	1.0256E+001
Line8_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7700E+003	2.7054E+002	5.4727E+002	3.1246E+003	1.0305E+001
Line8_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7232E+003	2.7143E+002	5.0199E+002	3.0890E+003	1.0266E+001
Line8_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.7598E+003	2.7101E+002	5.3497E+002	3.1175E+003	1.0305E+001
Line9_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7830E+003	6.8956E+001	1.4462E+003	2.1110E+003	1.1575E+001
Line9_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7302E+003	6.9216E+001	1.3906E+003	2.0593E+003	1.1575E+001
Line9_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.7715E+003	6.9022E+001	1.4346E+003	2.0997E+003	1.1575E+001

LAMPIRAN D TABEL STATISTIK TENSION ULS ARAH 45°

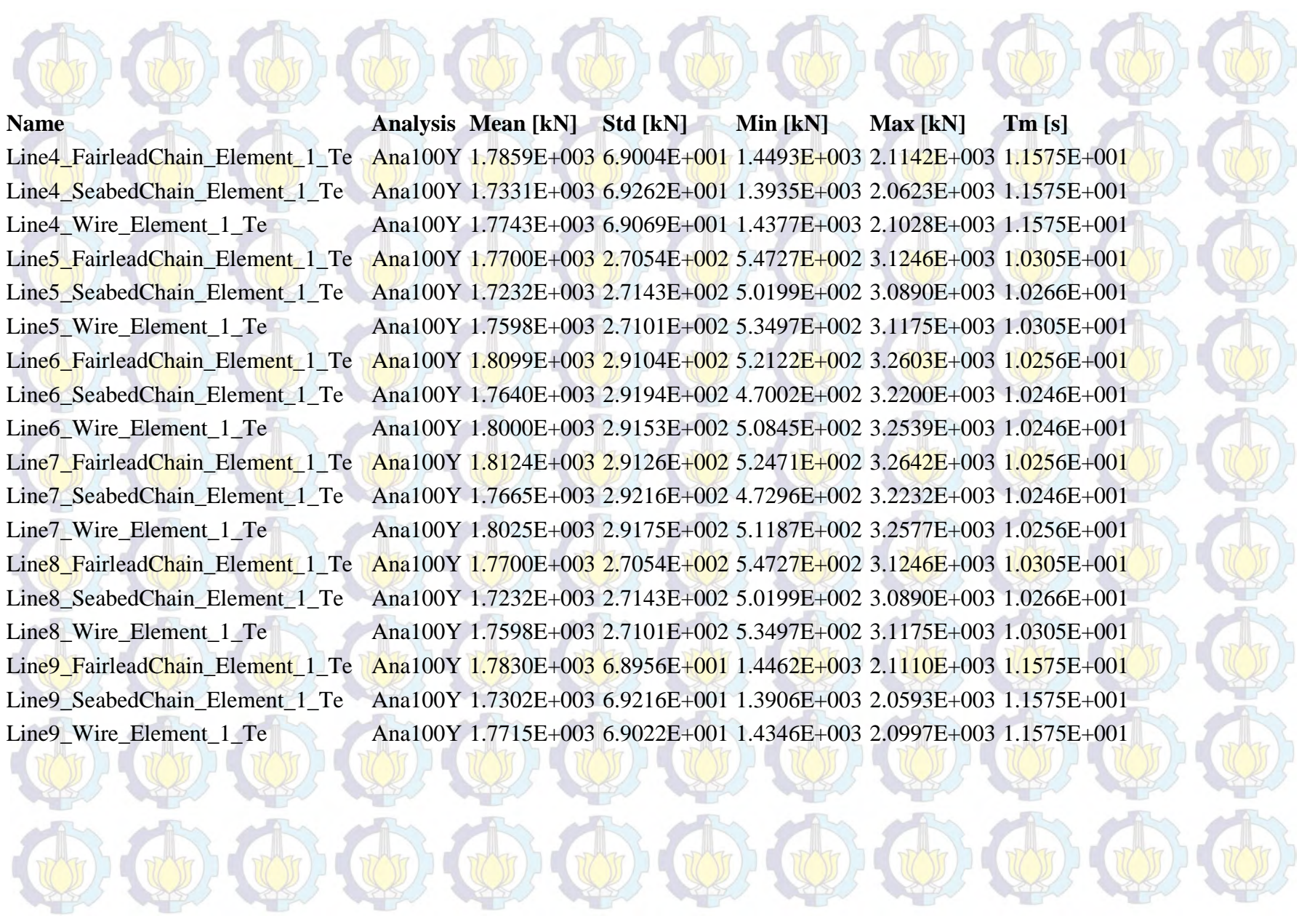
Name	Analysis	Mean [kN]	Std [kN]	Min [kN]	Max [kN]	Tm [s]
Line10_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7522E+003	2.8553E+002	5.3344E+002	2.8211E+003	1.0578E+001
Line10_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.6939E+003	2.8681E+002	4.6348E+002	2.7690E+003	1.0578E+001
Line10_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.7392E+003	2.8599E+002	5.1757E+002	2.8099E+003	1.0578E+001
Line11_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7358E+003	3.5376E+002	2.4682E+002	3.0447E+003	1.0455E+001
Line11_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.6739E+003	3.5497E+002	1.7499E+002	2.9892E+003	1.0465E+001
Line11_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.7220E+003	3.5426E+002	2.3082E+002	3.0329E+003	1.0465E+001
Line12_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7368E+003	3.4446E+002	2.8820E+002	3.0145E+003	1.0485E+001
Line12_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.6753E+003	3.4568E+002	2.1626E+002	2.9595E+003	1.0475E+001
Line12_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.7230E+003	3.4496E+002	2.7236E+002	3.0029E+003	1.0475E+001
Line1_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7760E+003	1.1601E+002	1.3087E+003	2.2298E+003	1.0661E+001
Line1_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7223E+003	1.1688E+002	1.2544E+003	2.1800E+003	1.0661E+001
Line1_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.7642E+003	1.1625E+002	1.2959E+003	2.2189E+003	1.0661E+001
Line2_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7807E+003	8.7836E+001	1.4381E+003	2.1227E+003	1.0898E+001
Line2_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7275E+003	8.8510E+001	1.3845E+003	2.0726E+003	1.0876E+001
Line2_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.7690E+003	8.8008E+001	1.4258E+003	2.1117E+003	1.0898E+001
Line3_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7889E+003	2.4082E+002	7.1748E+002	2.8737E+003	1.0735E+001
Line3_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7399E+003	2.4186E+002	6.6911E+002	2.8334E+003	1.0714E+001
Line3_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.7782E+003	2.4130E+002	7.0515E+002	2.8654E+003	1.0735E+001



Name	Analysis	Mean [kN]	Std [kN]	Min [kN]	Max [kN]	Tm [s]
Line4_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7876E+003	2.8713E+002	5.3681E+002	3.0649E+003	1.0682E+001
Line4_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7401E+003	2.8824E+002	4.9753E+002	3.0253E+003	1.0661E+001
Line4_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.7773E+003	2.8766E+002	5.2468E+002	3.0573E+003	1.0672E+001
Line5_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7667E+003	3.5343E+002	2.3080E+002	3.3398E+003	1.0578E+001
Line5_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7226E+003	3.5445E+002	1.9878E+002	3.3059E+003	1.0598E+001
Line5_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.7571E+003	3.5400E+002	2.1874E+002	3.3332E+003	1.0578E+001
Line6_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.8076E+003	3.5121E+002	2.8965E+002	3.3655E+003	1.0609E+001
Line6_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7633E+003	3.5227E+002	2.4192E+002	3.3278E+003	1.0578E+001
Line6_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.7981E+003	3.5179E+002	2.7677E+002	3.3592E+003	1.0609E+001
Line7_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.8140E+003	1.1545E+002	1.2454E+003	2.3692E+003	1.1145E+001
Line7_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7619E+003	1.1591E+002	1.1935E+003	2.3215E+003	1.1122E+001
Line7_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.8027E+003	1.1562E+002	1.2335E+003	2.3593E+003	1.1134E+001
Line8_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7707E+003	9.1829E+001	1.3256E+003	2.2265E+003	1.1416E+001
Line8_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7181E+003	9.2162E+001	1.2698E+003	2.1757E+003	1.1392E+001
Line8_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.7592E+003	9.1921E+001	1.3144E+003	2.2159E+003	1.1416E+001
Line9_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7570E+003	2.3963E+002	7.3636E+002	2.6666E+003	1.0661E+001
Line9_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7002E+003	2.4085E+002	6.6587E+002	2.6154E+003	1.0640E+001
Line9_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.7444E+003	2.4004E+002	7.2152E+002	2.6556E+003	1.0651E+001

LAMPIRAN E TABEL STATISTIK TENSION ULS ARAH 90°


Name	Analysis	Mean [kN]	Std [kN]	Min [kN]	Max [kN]	Tm [s]
Line10_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7823E+003	7.3107E+001	1.5056E+003	2.1253E+003	1.1638E+001
Line10_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7293E+003	7.3513E+001	1.4509E+003	2.0745E+003	1.1638E+001
Line10_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.7707E+003	7.3183E+001	1.4939E+003	2.1141E+003	1.1638E+001
Line11_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7501E+003	2.6803E+002	5.6764E+002	2.7847E+003	1.0355E+001
Line11_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.6911E+003	2.6921E+002	5.0728E+002	2.7348E+003	1.0335E+001
Line11_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.7370E+003	2.6847E+002	5.5197E+002	2.7742E+003	1.0355E+001
Line12_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7450E+003	2.8662E+002	4.6764E+002	2.8473E+003	1.0305E+001
Line12_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.6851E+003	2.8780E+002	4.0987E+002	2.7977E+003	1.0266E+001
Line12_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.7317E+003	2.8708E+002	4.5158E+002	2.8365E+003	1.0286E+001
Line1_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7450E+003	2.8662E+002	4.6764E+002	2.8473E+003	1.0305E+001
Line1_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.6851E+003	2.8780E+002	4.0987E+002	2.7977E+003	1.0266E+001
Line1_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.7317E+003	2.8708E+002	4.5158E+002	2.8365E+003	1.0286E+001
Line2_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7501E+003	2.6803E+002	5.6764E+002	2.7847E+003	1.0355E+001
Line2_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.6911E+003	2.6921E+002	5.0728E+002	2.7348E+003	1.0335E+001
Line2_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.7370E+003	2.6847E+002	5.5197E+002	2.7742E+003	1.0355E+001
Line3_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7823E+003	7.3107E+001	1.5056E+003	2.1253E+003	1.1638E+001
Line3_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7293E+003	7.3513E+001	1.4509E+003	2.0745E+003	1.1638E+001
Line3_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.7707E+003	7.3183E+001	1.4939E+003	2.1141E+003	1.1638E+001



Name	Analysis	Mean [kN]	Std [kN]	Min [kN]	Max [kN]	Tm [s]
Line4_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7859E+003	6.9004E+001	1.4493E+003	2.1142E+003	1.1575E+001
Line4_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7331E+003	6.9262E+001	1.3935E+003	2.0623E+003	1.1575E+001
Line4_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.7743E+003	6.9069E+001	1.4377E+003	2.1028E+003	1.1575E+001
Line5_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7700E+003	2.7054E+002	5.4727E+002	3.1246E+003	1.0305E+001
Line5_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7232E+003	2.7143E+002	5.0199E+002	3.0890E+003	1.0266E+001
Line5_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.7598E+003	2.7101E+002	5.3497E+002	3.1175E+003	1.0305E+001
Line6_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.8099E+003	2.9104E+002	5.2122E+002	3.2603E+003	1.0256E+001
Line6_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7640E+003	2.9194E+002	4.7002E+002	3.2200E+003	1.0246E+001
Line6_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.8000E+003	2.9153E+002	5.0845E+002	3.2539E+003	1.0246E+001
Line7_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.8124E+003	2.9126E+002	5.2471E+002	3.2642E+003	1.0256E+001
Line7_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7665E+003	2.9216E+002	4.7296E+002	3.2232E+003	1.0246E+001
Line7_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.8025E+003	2.9175E+002	5.1187E+002	3.2577E+003	1.0256E+001
Line8_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7700E+003	2.7054E+002	5.4727E+002	3.1246E+003	1.0305E+001
Line8_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7232E+003	2.7143E+002	5.0199E+002	3.0890E+003	1.0266E+001
Line8_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.7598E+003	2.7101E+002	5.3497E+002	3.1175E+003	1.0305E+001
Line9_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7830E+003	6.8956E+001	1.4462E+003	2.1110E+003	1.1575E+001
Line9_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7302E+003	6.9216E+001	1.3906E+003	2.0593E+003	1.1575E+001
Line9_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.7715E+003	6.9022E+001	1.4346E+003	2.0997E+003	1.1575E+001

LAMPIRAN F TABEL STATISTIK TENSION ALS ARAH 90°

Name	Analysis	Mean [kN]	Std [kN]	Min [kN]	Max [kN]	Tm [s]
Line10_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7306E+003	3.9980E+002	6.8996E+001	3.1859E+003	1.0093E+001
Line10_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.6684E+003	4.0131E+002	2.7155E+001	3.1316E+003	1.0084E+001
Line10_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.7167E+003	4.0038E+002	5.2416E+001	3.1745E+003	1.0084E+001
Line11_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7627E+003	2.1610E+002	8.8044E+002	2.5989E+003	1.0237E+001
Line11_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7065E+003	2.1743E+002	8.2253E+002	2.5527E+003	1.0217E+001
Line11_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.7503E+003	2.1658E+002	8.6651E+002	2.5876E+003	1.0237E+001
Line12_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7661E+003	1.8222E+002	1.0392E+003	2.4757E+003	1.0325E+001
Line12_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7109E+003	1.8344E+002	9.7208E+002	2.4273E+003	1.0325E+001
Line12_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.7539E+003	1.8267E+002	1.0254E+003	2.4645E+003	1.0335E+001
Line1_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7873E+003	1.8357E+002	9.7774E+002	2.6377E+003	1.0455E+001
Line1_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7366E+003	1.8450E+002	9.3597E+002	2.5951E+003	1.0424E+001
Line1_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.7762E+003	1.8389E+002	9.6600E+002	2.6294E+003	1.0424E+001
Line2_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7883E+003	2.1907E+002	8.5024E+002	2.7823E+003	1.0364E+001
Line2_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7385E+003	2.2013E+002	8.0765E+002	2.7423E+003	1.0335E+001
Line2_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.7774E+003	2.1946E+002	8.3838E+002	2.7746E+003	1.0344E+001
Line4_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7825E+003	4.0905E+002	1.9656E+002	3.5610E+003	1.0103E+001
Line4_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7389E+003	4.1045E+002	1.4265E+002	3.5327E+003	1.0093E+001
Line4_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.7731E+003	4.0968E+002	1.8574E+002	3.5563E+003	1.0103E+001



Name	Analysis	Mean [kN]	Std [kN]	Min [kN]	Max [kN]	Tm [s]
Line5_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7717E+003	2.1319E+002	8.5295E+002	2.7444E+003	1.0374E+001
Line5_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7217E+003	2.1423E+002	8.1196E+002	2.7028E+003	1.0344E+001
Line5_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.7607E+003	2.1357E+002	8.4127E+002	2.7366E+003	1.0364E+001
Line6_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.8122E+003	1.8610E+002	1.0006E+003	2.6717E+003	1.0485E+001
Line6_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7615E+003	1.8704E+002	9.4952E+002	2.6275E+003	1.0414E+001
Line6_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.8011E+003	1.8643E+002	9.8833E+002	2.6634E+003	1.0455E+001
Line7_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7934E+003	1.8468E+002	1.0527E+003	2.5125E+003	1.0335E+001
Line7_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7383E+003	1.8591E+002	9.9678E+002	2.4585E+003	1.0266E+001
Line7_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.7813E+003	1.8514E+002	1.0393E+003	2.5008E+003	1.0315E+001
Line8_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7466E+003	2.1053E+002	8.8780E+002	2.5658E+003	1.0246E+001
Line8_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.6905E+003	2.1184E+002	8.3374E+002	2.5169E+003	1.0227E+001
Line8_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.7342E+003	2.1101E+002	8.7397E+002	2.5544E+003	1.0246E+001
Line9_FairleadChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.7278E+003	3.9911E+002	7.1369E+001	3.1815E+003	1.0093E+001
Line9_SeabedChain_Element_1_Te	Ana100Y	1.6656E+003	4.0062E+002	2.4768E+001	3.1291E+003	1.0093E+001
Line9_Wire_Element_1_Te	Ana100Y	1.7139E+003	3.9969E+002	5.4558E+001	3.1699E+003	1.0084E+001

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A TABEL STATISTIK RAO FREE FLOATING

LAMPIRAN B TABEL STATISTIK RAO TETHERED

LAMPIRAN C TABEL STATISTIK TENSION ULS ARAH 0°

LAMPIRAN D TABEL STATISTIK TENSION ULS ARAH 45°

LAMPIRAN E TABEL STATISTIK TENSION ULS ARAH 90°

LAMPIRAN F TABEL STATISTIK TENSION ALS ARAH 90°